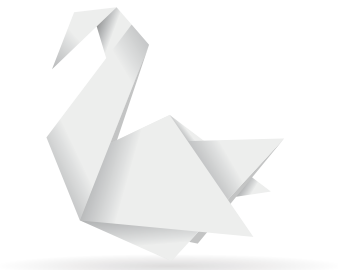
IL CIGNO



POLITECNICO DI MILANO
Scuola di Architettura Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni
Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura

IL CIGNO

Mixed Use *Nearly Zero Energy* Building

Relatore: Prof. Ing. Gabriele MASERA

Co-relatore: Prof. Ing. Marco IMPERADORI
Prof. Arch. Marco MUSCOGIURI
Prof. Ing. Matteo COLOMBO
Prof. Ing. Matteo BRASCA
Ing. PhD Gabriele LOBACCARO

Tesi di Laurea magistrale di:

Massimiliano GIANI Matr. 678895

Anno Accademico **2016-2017**

SINOSSI

Il Cigno è il risultato di un percorso iniziato grazie alla partecipazione al concorso internazionale 'Premio Compasso Volante 2012'. Il bando prevedeva la progettazione di un edificio multifunzionale *Nealy Zero Energy Building* che contribuisse alla riqualificazione di uno dei vuoti urbani della città di Milano, situato lungo via Palermo all'interno del quartiere storico di Brera.

L'obiettivo della tesi è di sviluppare un edificio innovativo sia nelle forme che nei contenuti. Il Cigno consiste in una combinazione di residenze ed uno spazio pubblico per il quale è stata progettata *Me-Library*, una mediateca che si confronta con una nuova concezione di biblioteca pubblica volta all'interazione tra i cittadini ed alla riduzione del *digital divide*. L'ingegnerizzazione del progetto ha previsto uno studio di ottimizzazione solare della forma dell'edificio (utilizzando software parametrici per l'analisi dinamica) per il quale è stato redatto un paper pubblicato nei proceedings del congresso CISBAT2013. Individuate le superfici dell'involucro maggiormente irraggiate, è stato dimensionato un impianto fotovoltaico considerando diverse combinazioni di materiali e tecnologie. L'analisi energetica dell'edificio è stata svolta parallelamente alla progettazione tecnologica ed impiantistica ottenendo bassi consumi ed un comfort elevato. La struttura esterna ha una morfologia complessa controllata attraverso l'analisi di un modello ad elementi finiti. Rispettando i principi della *progettazione integrata*, ogni step del design process è stato supervisionato da specialisti che hanno partecipato alle scelte progettuali attraverso un processo interattivo.

Il Cigno è il risultato di un processo volto ad equilibrare gli aspetti energetico-tecnologici ed estetico-formali che si genero da studi scientifici ingegneristici tanto quanto artistici di prospettiva, fotografia e teoria del colore. In forte contrasto con l'architettura milanese del centro storico, Il Cigno si inserisce in una composizione che reinterpreta le cromie e le geometrie del contesto proponendo un'architettura contemporanea, ecosostenibile ed innovativa.

SYNOPSIS

The Swan is the result of a process started with the participation to the international competition *'Premio Compasso Volante 2012'.* The functional programme required to design a multifuntional *Nealy Zero Energy Building* that should contribute to the rehabilitation of one of the urban voids of the city of Milan, located in via Palermo within the historic district of Brera.

The aim of the thesis is to develop an innovative building in shape as well as in the contents. The Swan is a combination of residences and a public space, for which it was designed *Me-Library*, a mediateca that follows a new conception of the public library to improve the interaction between citizens and to reduce the *digital divide*. The engineering process of the project involved a solar optimization of the shape of the building (exploiting parametric software for dynamic analysis) for which a paper has been published in the proceedings of the congress CISBAT2013. Once the most irradiated surfaces were identified, a photovoltaic system has been designed proposing different solutions of materials and technologies. The energy analysis of the building has been carried together with the technological and technical services design obtaining low energy consumption and a high level of comfort. The external structure is characterized by a complex morphology that has been controlled through the analysis of a finite element model. Following the ideas of the *multi-disciplinary team approach*, each step of the design process has been supervised by specialists who collaborated on the architectural choices through an interactive process.

The Swan is the result of the search for a balance between the energy-technological and the aesthetic- formal features, resulting from scientific and engineering studies as much as artistic of perspective, photography and colour theory. In contrast with the architecture of the historic centre of Milan, The Swan is part of a composition that reinterprets the colours and the geometry of the context creating a contemporary, sustainable and innovative architecture.

INDICE

ANALISI

1. ANALISI STORICA

1.1 MILANO NEOCLASSICA 4
1.1.1 La milano Austriaca 4
1.1.2 Il periodo Napoleonico 5

1.2 OTTOCENTO MILANESE 6

1.3 LA MILANO DEL "DOLCE STIL NOVO" 8

1.4 MILANO E IL NOVECENTO 9
1.4.1 Giovanni Muzio e l'architettura urbana 9
1.4.2 Giuseppe De Finetti e la casa a "ville sovrapposte" 10
1.4.3 Piero Portaluppi 11

1.5 SVILUPPI E TRASFORMAZIONI URBANE 12
1.5.1 L'area di Piazza Duomo 12
1.5.2 Il Nuovo Palazzo di Giustizia 13
1.5.3 Il quartiere della Borsa Valori 13
1.5.4 Palazzo dei Sindacati fascisti 13
1.5.5 La nuova Stazione Centrale 13

1.6 IL MOVIMENTO MODERNO A MILANO 14

1.7 GIO PONTI E LA CASA ALL'ITALIANA 16
1.7.1 Le Domus per Milano 17

1.8 DALL'ARCHITETTURA TARDO-MODERNISTA AL NEO-RAZIONALISMO 17
1.8.1 Post-modernISMO 19

1.9 MILANO OGGI 20
1.9.1 Focus sullo sviluppo delle aree limitrofe ed importantI 21
1.9.2 Area Brera 21
1.9.3 Area Garibaldi 23
1.9.4 Area Maciachini 23
1.9.5 Area Portello 24
1.9.6 Aree densamente edificate: approccio contemporaneo 27

2. HOUSING A MILANO

2.1 LA CASA DA PIGIONE OTTOCENTESCA 34

2.2 L'HOUSING AGLI INIZI DEL XX SECOLO 35

2.3 L'ESPERIENZA RESIDENZIALE A CAVALLO DELLE DUE GUERRE 36

2.4 IL SECONDO DOPO GUERRA 39

2.5 DAL BOOM ECONOMICO AD OGGI 40

2.6 EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA DELL'ABITAZIONE 41

2.6.1 Edificio e forma del lotto 41
2.6.2 Il piano terra 41
2.6.3 Il corpo di fabbrica 44
2.6.4 L'ultimo piano 44
2.6.5 La cortina edilizia 44
2.6.6 Le corti 47
2.6.7 La casa all'angolo 47

3. ANALISI URBANISTICA

3.1 EVOLUZIONE STORICO-URBANISTICA DI MILANO 52

3.1.1 Le mappe di milano fino al 1800 52

3.2 I PIANI URBANISTICI 54

3.2.1 Piano del 1801 - pinchetti 54
3.2.2 Piano del 1807 (piano regolatore neoclassico) 54
3.2.3 Nessun piano tra il 1808 e il 1885 55
3.2.4 Piano del 1889 (piano beruto) 56
3.2.5 Piano del 1912 (piano masera) 57
3.2.6 Piano del 1934 (piano albertini) 57

3.3 LETTURA DELLE MAPPE CATASTALI 59

3.3.1 Evoluzione storica dei catasti di milano 59

3.4 EVOLUZIONE CARTOGRAFIE DELL'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE 65

3.5 ANALISI DEI SERVIZI 76

3.5.1 Servizi commerciali 80
3.5.2 Centri d'istruzione 84
3.5.3 Biblioteche rionali 85
3.5.4 Parcheggi 88
3.5.5 Spazi verdi 89

3.6 ANALISI DEL CONTESTO URBANO 90

3.6.1 Indici urbanistici 90
3.6.2 Vincoli progettuali 90

4. MILANO

4.1 ANALISI SOCIALE, CULTURALE E COMMERCIALE 98
4.1.1 Servizi socio/culturali 98
4.1.2 Eventi sociali 102

5. L'ORTO BOTANICO DI BRERA

5.1 ORTO BOTANICO DI BRERA 108
5.1.1 Cenni Storici 109
5.1.2 Oggi: struttura, organizzazione e Attività didattiche 118
5.1.3 Natura e tecnologia 118
5.1.4 Collezioni e attrazioni principali 119
5.1.1 Rilievo fotografico 128

5.2 TIPOLOGIE E ASPETTI ARCHITETTONICI 136
5.2.1 Criteri bioclimatici e sistemi solari passivi 136
5.2.2 La serra 141
5.2.3 Linee guida per la progettazione 146

5.3 ORTO E COLTIVAZIONE 153
5.3.1 Impianto di irrigazione 158

6. ANALISI CLIMATICA

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE 164

6.2 PARAMETRI E CONDIZIONI CLIMATICHE 164
6.2.1 La temperatura dell'aria esterna 165
6.2.2 Energia radiante 170
6.2.3 Precipitazioni 177
6.2.4 Vento e brezze 178
6.2.5 Umidita' 179

6.3 COMFORT TERMOIGROMETRICO 180

6.4 COMPONENTI GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA 181
6.4.1 Componente geologica 181
6.4.2 Componente idrogeologica 182
6.4.3 Componente sismica 187

PROGETTO

1. COMPASSO VOLANTE

1.1 PREMIO ETTORE ZAMBELLI 208
1.1.1 Edizione 2012 208

1.2 ESPERIENZE 214
1.2.1 The Cube 214
1.2.2 Museo del Novecento 215
1.2.3 Quartiere Le Albere 216
1.2.4 Fuorisalone 217
1.2.5 Teatro Alla Scala 217
1.2.6 Casa Museo Achille Castiglioni 218
1.2.7 Cantieri di Milano Porta Nuova 219
1.2.8 Il viaggio 220
1.2.9 Workshop 223
1.2.10 Premiazioni 227

1.3 TAVOLA DI CONCORSO 228

2. SVILUPPO ARCHITETTONICO

2.1 INTRODUZIONE 232

2.2 CONTESTO 233
2.2.1 Brera Design District 233
2.2.2 Lotto, via Palermo ed elementi significativi 233
2.2.3 Accessibilità all'area 235

2.3 RILIEVO 236
2.3.1 Rilievo fotografico 236
2.3.2 Rilievo metrico e architettonico 236
2.3.3 Rilievo materico 237
2.3.4 Rilievo cromatico 237
2.3.5 Riferimenti e istituzioni 238

2.4 CONCEPT ARCHITETTONICO 241
2.4.1 Accessi 242
2.4.2 Forma 243
2.4.3 Serra botanica 246
2.4.4 Corte 246
2.4.5 L'angolo 246
2.4.6 Struttura 247
2.4.7 Smart city 247

2.5 LE RESIDENZE 250

2.6 ANALISI FUNZIONALE DELLA MEDIATECA 254
2.6.1 Mediateca di Santa Teresa - Milano 254

2.6.2 *BiblioTech - Texas* 259

2.7 ME-LIBRARY - PROGETTAZIONE 261
2.7.1 *Programma biblioteconomico* 263
2.7.2 *Il primo livello - settore d'ingresso* 264
2.7.3 *Il secondo livello - piazza coperta* 265
2.7.4 *Il terzo livello - digiteca* 265

3. OTTIMIZZAZIONE SOLARE

3.1 APPROCCIO SOLARE 268
3.1.1 *Stato dell'arte* 268

3.2 UN APPROCCIO PROGETTUALE PER L'OTTIMIZZAZIONE SOLARE DEI VOLUMI COSTRUITI 269

3.3 OBIETTIVI DELLA RICERCA 271

3.4 TEORIA E METODOLOGIA 272

3.5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI 276
3.5.1 *Individuazione dello 'Shell' energetico* 277

3.6 LE CONCLUSIONI ED I POSSIBILI SVILUPPI 278

3.7 ANALISI 286
3.7.1 *Il sole* 286
3.7.2 *Definizione del Volume di comparazione* 288
3.7.3 *Il modello parametrico* 290
3.7.4 *Studi preliminari* 290
3.7.5 *Il processo di modeling* 291
3.7.6 *Analisi e dati* 297
3.7.7 *Pubblicazione scientifica: Cisbat 2013* 307

4. STRATEGIE ENERGETICHE

4.1 INTRODUZIONE 318
4.1.1 *Riferimenti normativi* 319

4.2 IL COMPORTAMENTO PASSIVO 326
4.2.1 *Sostenibilità del sito* 326
4.2.2 *Riduzione dei consumi energetici* 327
4.2.3 *Benessere psicofisico e sicurezza della persona* 327
4.2.4 *La serra solare* 330

4.3 LE STRATEGIE ATTIVE - GLI IMPIANTI 332
4.3.1 *La centrale termica - Residenze* 334
4.3.2 *La centrale termica - Me Library* 337

4.4 LE PRINCIPALI NOVITÀ 343
4.4.1 *nZEB* 343
4.4.2 *CENED+2.0: funzionalità di calcolo NZEB e Legge 10* 345

4.4.3 Calcolo con software CENED+2.0 345

5. IMPIANTO FOTOVOLTAICO

5.1 STATO DELL'ARTE 364

5.2 CENNI STORICI 365
5.2.1 I pionieri (1839 – 1917) 365
5.2.2 Lo sviluppo delle tecnologie 365
5.2.3 Le applicazioni 366
5.2.4 Il fotovoltaico in italia 367

5.3 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO 367
5.3.1 Semiconduttori 368

5.4 LA CELLA FOTOVOLTAICA 369
5.4.1 Il silicio cristallino 370
5.4.2 Tecnologie dei moduli 372
5.4.3 Ombreggiamento e diodi di by-pass 377
5.4.4 Mismatch e flash-report 377

5.5 COMPONENTI 378
5.5.1 Elementi elettromeccanici 378
5.5.2 Elementi impiantistici 379

5.6 DIMENSIONAMENTO INVERTER-MODULI 381

5.7 TIPOLOGIE DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI 381
5.7.1 Sistemi stand alone 381
5.7.2 Sistemi grid-connected 383
5.7.3 Sistemi a utilizzo diretto 383

5.8 PROGETTO 386
5.8.1 Discretizzazione 386
5.8.2 Analisi preliminari 388

5.9 ANALISI COMPARATIVA 397
5.9.1 Film sottile amorfo e monocristallino 398
5.9.2 Monocristallino rivestito con film di amorfo 400
5.9.3 Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito con film in amorfo 402
5.9.4 Amorfo thin film high efficiency 404

6. SISTEMA TECNOLOGICO

6.1 SOSTENIBILITÀ 412
6.1.1 Effetto Serra 412
6.1.2 Fabbisogno energetico degli edifici 414
6.1.3 Riferimenti normativi 415

6.2 PROGETTAZIONE INTEGRATA 419
6.2.1 Fasi del processo edilizio 423

6.3 TECNOLOGIA STRATIFICATA A SECCO 428

6.4 SCOMPOSIZIONE DEL SISTEMA EDILIZIO 431

6.5 MATERIALI ISOLANTI 436
6.5.1 Isolamento termico 437
6.5.2 Isolamento acustico 439
6.5.3 Isolanti anticalpestio 441
6.5.4 Inerzia termica 442

6.6 CHIUSURE VERTICALI 445
6.6.1 Facciata ventilata 445
6.6.2 Infissi verticali 449
6.6.3 Parete della serra bioclimatica 449
6.6.4 Pareti controterra 451

6.7 CHIUSURE ORIZZONTALE SUPERIORI 453
6.7.1 Copertura isolata rovescia 453
6.7.2 Copertura verde 455

6.8 CHIUSURE ORIZZONTALI INFERIORI 457
6.8.1 Solaio controterra 457

6.9 PARTIZIONI 459
6.9.1 Partizioni interne orizzontali 459
6.9.2 Partizioni interne verticali 461

7. CALCOLO STRUTTURALE

7.1 IL CONCEPT STRUTTURALE 468
7.1.1 Griglia strutturale 469
7.1.2 Soluzione d'angolo 470
7.1.3 Sistema di controvento 471
7.1.4 Reticolo strutturale 474

7.2 MATERIALI DA COSTRUZIONE 476
7.2.1 Perché usare l'acciaio in architettura? 476
7.2.2 I nuovi materiali (GRP) 478
7.2.3 Stato dell'arte e futuri sviluppi 483
7.2.4 Caratteristiche dei materiali 485
7.2.5 Acciaio 485
7.2.6 Calcestruzzo C25/30 486
7.2.7 Pultrusi (GRP) 486
7.2.8 Bulloni 486

7.3 RIFERIMENTI NORMATIVI 487

7.4 VERIFICHE DI SICUREZZA 487

7.5 AZIONI SULLE COSTRUZIONI 488

7.6 ANALISI DEI CARICHI 489
7.6.1 Permanenti (G) 489

7.6.2 Carichi variabili (q) 491
7.6.3 Azione della neve 493
7.6.4 Combinazioni di carico 501

7.7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA 504
7.7.1 Solaio interpiano 504
7.7.2 Travi secondarie 508
7.7.3 Travi primarie 514
7.7.4 Modello strutturale ad elementi finiti [FEM] 521
7.7.5 Pilastri 531
7.7.6 Unioni bullonate 533

8. STUDIO ILLUMINOTECNICO

8.1 IL COMFORT LUMINOSO 540

8.2 ILLUMINOTECNICA 541
8.2.1 Normativa di riferimento 543
8.2.2 La luce naturale 544
8.2.3 Illuminazione artificiale 545

8.3 ANALISI DELLA RADIAZIONE SOLARE- APPARTAMENTI 546
8.3.1 Fattore di luce diurno 546
8.3.2 Elementi schermanti 546
8.3.3 Disposizione degli spazi interni 548
8.3.4 Report di analisi 550

ANALISI

ANALISI STORICA

indagine storico-architettonica di Milano

capitolo 01

1.1 MILANO NEOCLASSICA

1.1.1 LA MILANO AUSTRIACA

A metà del Settecento, Milano conservava ancora la configurazione di città radiale compresa all'interno delle antiche mura spagnole del XVI secolo. Punti cardine della città erano il Castello Sforzesco, il Duomo e l'Ospedale Maggiore; più distanti dal nucleo urbano si collocavano il Lazzaretto e la Rotonda della Besana (il cimitero della città).

Il polo culturale era rappresentato dall'Accademia di Brera, collegio gesuitico dove veniva formata l'élite lombarda e che per questo godeva di ampio potere. Sotto il dominio austriaco l'ordine venne soppresso nel 1773, ma l'Accademia conservò la vocazione di edificio adibito all'istruzione, con carattere laico anziché religioso, e fu destinata ad ospitare l'Accademia di Belle Arti che si occupò della formazione della maggior parte degli architetti milanesi per tutto l'Ottocento. Il Politecnico venne infatti fondato nel 1863 e la Scuola di Architetti inserita nel 1865 (per iniziativa di Camillo Boito), ma l'Accademia conservò la propria influenza.

Figura di rilievo della Milano austriaca di questo periodo fu Giuseppe Piermarini, formatosi prima a Roma come allievo di Luigi Vanvitelli e in seguito nella città lombarda dove fu nominato nel 1779 Imperial Regio Architetto. Come tale, Piermarini si occupò in città di Palazzo Belgioioso, del Teatro alla Scala, che non godeva ancora dell'ampia piazza che lo precede oggi, e della parte terminale della "manica lunga" di Palazzo Ducale (oggi Palazzo Reale) andata persa durante un incendio. Il linguaggio utilizzato da Piermarini per questi edifici rispondeva ai quei principi di geometria e proporzione che stavano dominando l'intero scenario europeo di foggia neoclassica.

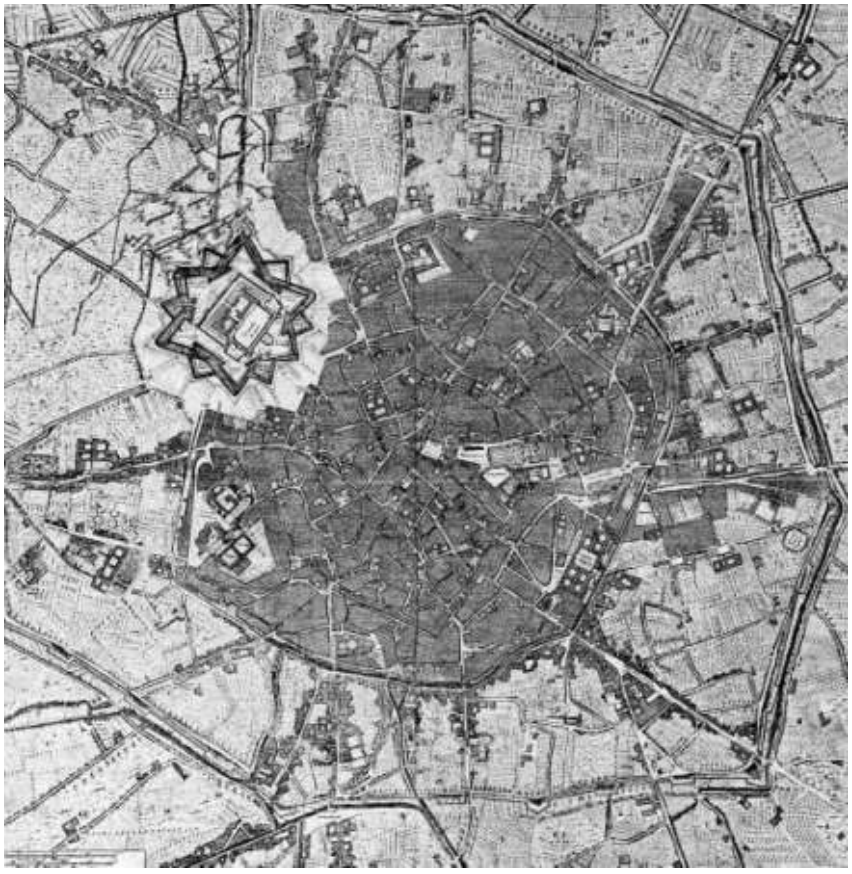


fig. 1.1 - *Cartografia di Milano, 1750*

Verso la fine del Settecento si impose la figura di Leopoldo Pollack, austriaco e allievo del Piermarini, che disegnò il parco di Villa Belgioioso, prima testimonianza di giardino all'inglese in Italia.

fig. 1.2 - *Arco della pace, zona Sempione*

1.1.2 IL PERIODO NAPOLEONICO

Nel 1796 l'esito della Battaglia di Lodi costrinse gli austriaci ad abbandonare il territorio milanese e Napoleone fece il suo ingresso in città. Iniziò per Milano un periodo di grandi celebrazioni e di progetti, destinati a trasformare ampie aree urbane ed affidati ad una generazione di architetti, detti "giacobini", provenienti dall'Emilia.

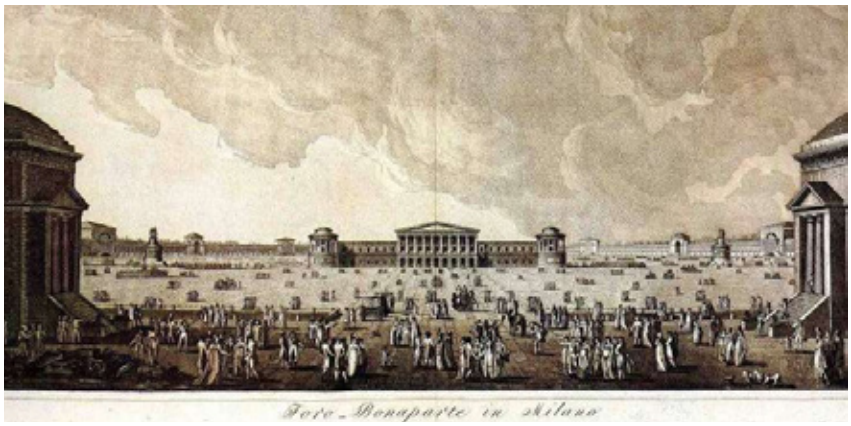


fig. 1.3 - *Visione del progetto per il Forio Bonaparte*

Principale area di interesse fu inizialmente il Lazzaretto che, per la sua dimensione, fu destinato ad ospitare le celebrazioni della Federazione degli stati napoleonici. Con il progressivo accentuarsi del carattere centralista della politica di Napoleone, il programma francese rivolse poi le proprie attenzioni sull'area del Castello dove si ipotizzò di sostituire i fabbricati esistenti con il nuovo Foro Bonaparte: 14 edifici a cui attribuire funzioni pubbliche e istituzionali, disegnati secondo lo stile neoclassico francese. Il progetto restò incompiuto.

All'interno dell'area del Castello si realizzò nel 1807 l'Arena Civica ad opera di Luigi Canonica all'interno di un ampio progetto di ristrutturazione dell'area commissionatogli dalla Commissione di Pubblico Ornato e in occasione della recente proclamazione della Repubblica Cisalpina nel 1797; l'Arena venne concepita come un circo ligneo che potesse essere allagato e predisposto alla corsa delle bighe.

Quello napoleonico fu inoltre il periodo degli archi di trionfo; si citano l'Arco di Porta Nuova dell'architetto Giuseppe Zanoja e quello di Porta Ticinese (allora Porta Marengo) progettato da Luigi Cagnola, nuova figura di spicco della generazione post-giacobina. Cagnola fu anche l'autore di un altro arco, collocato all'altro estremo della piazza d'armi rispetto al Castello. L'arco fu inizialmente concepito come opera temporanea per celebrare le nozze del viceré Eugenio Beauharnais e quindi disegnato con un programma iconografico dedicato al personaggio, ma la sua realizzazione si protrasse così a lungo che, prima ancora di essere completato (1836), gli austriaci si reimpossessarono del territorio milanese, ne modificarono l'iconografia e lo ribattezzarono Arco della Pace, in onore della pace del 1815 tra le potenze europee.

Infine, si ricorda che nel 1807 venne istituita la Commissione di Pubblico Ornato, preposta alla redazione del Piano Generale di Milano detto Piano dei Rettifili, al controllo dell'edilizia pubblica e privata e alla definizione di parametri di qualità cui avrebbe dovuto attenersi qualsiasi intervento, anche minuto, che fosse visibile da una strada, da una piazza o da una qualsiasi area pubblica. I cinque membri che componevano la Commissione erano tutti professori a Brera o "amanti dell'architettura", tra questi i già citati Zanoja e Cagnola.

fig. 1.4 - *Cartografia di Milano, 1850*

1.2 OTTOCENTO MILANESE

Eclettismo e tecnica

Nel 1814 Milano tornò sotto il dominio austriaco, ma le iniziative sulla città non si arrestarono. Al contrario esse assunsero un nuovo atteggiamento più aperto nei confronti dell'aggiornamento tecnico e linguistico. Milano inizia ad affacciarsi a nuovi stili, prendendo le distanze dall'antico come modello esclusivo.

Le nuove architetture si fecero espressione più della borghesia e della sua capacità imprenditoriale che della volontà del potere centrale. Il pe\riodo tra gli anni venti e quaranta, in particolare, fu caratterizzato da prosperità economica e vivacità edilizia. Si rettificarono alcune strade, si sistemarono i giardini, furono aperte nuove attività commerciali e migliorato il decoro urbano.

In questo panorama si colloca il progetto della Galleria De Cristoforis (1830-1832), disegnata dall'architetto Andrea Pizzala su commissione di Luigi De Cristoforis, il quale possedeva un lotto "da riqualificare" (come si direbbe oggi) su Corsia dei Servi, attualmente Corso Vittorio Emanuale. La galleria si rifaceva al modello dei passages francesi (più precisamente parigini) e delle arcades inglesi e rappresentò il primo esempio di passaggio commerciale coperto in ferro e vetro realizzato in Italia. Ulteriore aspetto innovativo fu la planimetria con incrocio a T, in controtendenza rispetto all'andamento rettilineo dei casi esistenti.

Il complesso prevedeva anche un complesso di abitazioni che affacciava sulla strada

con l'aspetto di un comune caseggiato; l'ingresso alla galleria era invece segnato da tre fornici, era privo di ordini classici e simbolismi. L'organizzazione era di tipico stampo rinascimentale, l' edificio era a destinazione mista con un livello commerciale al piano terra, il piano nobile sopra e ancora, salendo, gli appartamenti più poveri.

La Galleria De Cristoforis non rimase un esempio isolato, ma al contrario rappresentò l'illustre precedente di un progetto analogo, ma ben più ambizioso e complesso: la Galleria Vittorio Emanuele II. Nel 1859, infatti, Milano si liberò del potere austriaco, conquistando la propria indipendenza e diventando Municipio. Si tornò così a parlare della Piazza del Duomo, una faccenda francese rimasta irrisolta.

L'ampia piazza rettangolare che oggi si estende davanti alla facciata della cattedrale è un progetto che nasce proprio in questi anni: nel 1861 venne indetto un concorso per l'area, in cui si prevedeva la demolizione degli antichi isolati (il Rebecchino e il Coperto del Figini) per far posto ad una piazza rettangolare attorno alla quale si disponessero nuovi edifici porticati e che fosse collegata alla Scala tramite passaggio, coperto o scoperto a scelta dei concorrenti.

Il progetto scelto dalla Commissione fu quello dell'architetto bolognese Giuseppe Mengoni. L'idea proposta da Mengoni fu quella di un passaggio coperto articolato a T, come la Galleria De Cristoforis,e disegnato secondo un lessico neorinascimentale. La Galleria fu un cantiere complesso ed innovativo dal punto di vista tecnico: per garantire flessibilità e libertà di spazio al piano terreno, che era destinato alle botteghe, venne perseguito un criterio di modularità e venne minimizzata la muratura portante. Questo condusse all'utilizzo di pilastri in ghisa, poiché in grado di sopportare i carichi ingenti derivanti dalla scelta di uno spazio più libero e aperto. La tecnologia del ferro era stata introdotta in architettura nel secolo precedente, ma era a lungo rimasta legata al solo ambito industriale ed era entrata a far parte delle architetture più "nobili" da qualche decennio. Innovativa fu inoltre la copertura, in ferro e vetro come quella della Galleria De Cristoforis, ma più elegante e staticamente più complessa: venne abbandonata la tipologia a falde spioventi e progettato un sistema di archi ribassati privi di tirantatura e innestati su una cupola centrale larga più di 40 metri e distante da terra più di 30. Si ottenne in questo modo una spazialità inedita che ancora oggi costituisce probabilmente il motivo del grande successo della Galleria. Tra i progetti degni di nota relativi a questo periodo affrontiamo brevemente quello del Cimitero Monumentale, realizzato dopo travagliate vicissitudini seguendo il disegno dell'architetto Carlo Maciachini del 1863. Il suo merito fu quello di aver abbandonato lo stile neoclassico nell'architettura cimiteriale per aprirsi a un nuovo linguaggio (una commistione tra orientale e italiano, tra bizantino e medioevale) e di aver rotto con la convenzionale struttura a recinto, sostituendola con un impianto tipicamente francese di spazio aperto e dilatato del tutto simile ad un giardino.

Intorno alla metà del secolo, cominciò ad affiorare un medievalismo che fu strettamente legato alla figura di Camillo Boito, professore del Politecnico e dell'Accademia di Brera, e che divenne anche espressione di un sentimento fortemente regionalista. Negli ultimi decenni si assistette al fiorire sulle facciate di un assortimento di mattoni a vista, ghiere, terre cotte e conci in pietra, anche nell'architettura residenziale borghese.

Di diverso respiro, più rinascimentale, fu il linguaggio utilizzato per l'intervento di Via Dante. All'interno del piano redatto nel 1889 dall'ingegnere Cesare Beruto furono stabilite alcune demolizioni per far spazio ad un collegamento diretto tra il Castello e il Duomo. Nacque così il progetto per la Via Dante, che fu occasione di sperimentazione sia delle nuove norme edilizie, tecniche e di decoro, sia delle nuove tecnologie costruttive. I moderni edifici erano architetture multifunzionali in cui il terziario incontrava il residenziale, esigevano una profonda cura del disegno della facciata e contemporaneamente un complesso studio delle dotazioni impiantistiche.

Quello della Via Dante (come altri) fu un intervento spesso definito speculativo, poiché le aree venivano destinate a edifici residenziali dove, se il piano nobile era normalmente occupato dalla famiglia proprietaria del fabbricato, i livelli superiori venivano dati in affitto dai proprietari stessi a famiglie di ceto inferiore (da cui l'appellativo "case da pigione"). Il

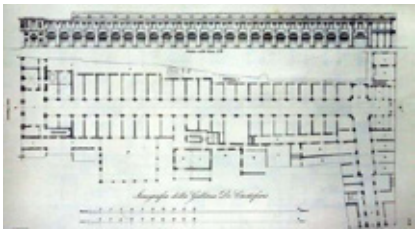


fig. 1.5 - *Progetto per la Galleria de Cristoforis*

fig. 1.6 - *Planimetria del centro città con dettaglio su via Dante*

fig. 1.7 - *Galleria Vittorio Emanuele II*

fig. 1.8 - *Edificio in via Dante, Camillo Boito*

fig. 1.9 - *Edificio tra via Dante e via Gulini, Pirovano*

fig. 1.11 - *Edificio tra via Dante e via Gulini, Pirovano*

fig. 1.10 - *Progetto del Parco Sempione di E. Alemagna*

progetto della Via Dante nacque sotto la forma di un concorso, che avrebbe premiato i proprietari delle tre più belle "fabbriche" realizzate. Qui si confrontarono professionisti come Luigi Broggi, Giuseppe Sommaruga e Giuseppe Pirovano. Si conquistò il primo premio l'edificio progettato da Pirovano (di sua proprietà) situato all'angolo tra Via Dante e Via Giulini.

Nello stesso periodo anche la zona dell'antico Foro Bonaparte subì un processo di trasformazione. Sull'ampia area della piazza d'armi tra il Castello e l'Arco della Pace si pensò di realizzare residenze di lusso, un intervento che avrebbe sicuramente portato a grossi profitti. La posizione di Beruto, però, era differente: egli immaginava di lasciare l'area totalmente libera. Dalla questione sorse un dibattito, soprattutto tra il municipio e gli storici, in cui venne coinvolto anche il Ministero della Pubblica Istruzione.

Alla fine, si decise di vincolare il Castello (con l'intenzione di restaurarlo) e di creare alle sue spalle un grande parco al servizio dei cittadini. Nacque così il Parco Sempione, progetto dell'architetto Emilio Alemagna, allievo di Giuseppe Balzaretti con cui aveva lavorato al disegno dei Giardini Pubblici (oggi Giardini Indro Montanelli). Tramite il parco si raccordarono finalmente il Castello, l'Arena e l'Arco della Pace. Gli edifici residenziali furono invece realizzati in prossimità del Castello, disposti in modo da formare una corona attorno ad esso.

Negli ultimissimi anni del secolo sorse il primo centro direzionale della città, con banche, assicurazione, uffici amministrativi: Piazza Cordusio. Tra i palazzi costruiti all'epoca si ricorda il palazzo delle Assicurazioni Generali Venezia, opera dell'architetto Luca Beltrami. Il palazzo ospitava negozi, uffici e appartamenti e si collocava in una posizione di rilievo all'interno della piazza, tale da richiede accuratezza ed eleganza nelle linee e monumentalità nell'insieme. La grandezza dell'opera risiedeva anche nei suoi aspetti più tecnici, essendo il primo edificio milanese in cui venne impiegato il sistema Hannebique di solette in cemento armato, tecnica tra le più innovative del periodo.

1.3 LA MILANO DEL "DOLCE STIL NOVO"

I primi decenni del XX secolo videro imporsi sullo scenario architettonico (e non solo) lo stile liberty. Breve parenesi nell'architettura italiana, il gusto liberty arricchì gli edifici milanesi di virtuosismi decorativi realizzati con cementi, ferri battuti e pitture floreali. Le facciate dei nuovi palazzi diventarono luoghi di condensazione di arti e mestieri, momento di incontro tra artisti, architetti e imprese.

A Milano, il dolce stil novo cercò forzatamente una giustificazione e un'origine nobile nelle pitture leonardesche della Sala delle Assi del Castello Sforzesco, dove fu condotta a partire dal 1902 una campagna di restauro diretta da Luca Beltrami. Gli affreschi della sala furono dipinti da Leonardo nell'epoca Sforzesco-Viscontea con motivi floreali che diventarono oggetto di approfondito studio proprio in questo periodo.

Tra gli edifici più significativi della fase liberty milanese, citiamo Palazzo Castiglioni (1901-1903) dell'architetto Giuseppe Sommaruga, in C.so Venezia 47, nel quale ritroviamo tutte le caratteristiche tipiche del periodo. La facciata esterna in granito e serizzo è accuratamente decorata e arricchita di due scultoree figure femminili che rappresentano l'Industria e la Pace. Innovativa è la destinazione: in parte l'edificio fu abitato dalla famiglia

Castiglioni e in parte suddiviso in appartamenti d'affitto.

In prossimità di C.so di Pota Venezia, si trovava anche Casa Galimberti in Via Malpighi 3 (1902-1905), opera di Gian Battista Bossi, il quale compose la facciata con piastrelle in ceramica dipinte con motivi floreali, figure femminili e rami intrecciati.

Altri significativi interventi di questo periodo sono: Casa Campanini (Via Bellini 11, 1904-906) di Alfredo Campanini, Casa Donzelli (Via Gioberti 1, 1903-1904) di Ulisse Stacchini (futuro autore della Stazione Centrale), l'Acquario Civico in Viale Gadio di Giuseppe Sebastiano Locati, curatore dell'esposizione milanese del 1906, di cui questo edificio faceva parte.

fig. 1.12 - *Palazzo Castiglioni di Sommaruga*

1.4 MILANO E IL NOVECENTO

A termine del primo conflitto mondiale a Milano si osserva l'ennesimo "ritorno" ad un'architettura di stampo classicista; alla base di tale corrente stilistica, c'è la volontà da parte della nuova generazione di architetti (Giovanni Muzio, Gio Ponti, Emilio Lancia, Giuseppe De Finetti, Alberto Alpago Novello, Ottavio Calbiati) di reagire all'orientamento accademico di quegli anni, persuaso da influssi neobarocceggianti. Secondo tale filosofia, la "nuova" architettura del Novecento è, innanzitutto, una concezione urbana che deve garantire "unità architettonica" alla città, su base di esempi ritenuti consoni ed appropriati come quelli di stampo "classico" del primo Ottocento milanese. Essa, infatti, indurrà per la prima volta i protagonisti dell'epoca a concepire le nuove costruzioni in senso moderno, con un'accentuata connotazione volumetrica ed una spiccata inclinazione urbana.

fig. 1.13 - *Casa Cappannini, Alfredo Capannini*

1.4.1 GIOVANNI MUZIO E L'ARCHITETTURA URBANA

Giovanni Muzio (1893-1982, laurea in Architettura al Politecnico di Milano nel 1915) trova le "fonti" di questa corrente architettonica, basata sul concetto di "classico", all'interno dei valori formali di tre precisi periodi storici (tarda età classica, il XVI secolo e il neoclassicismo ottocentesco), cercando di elaborare delle nuove espressioni stilistiche; egli fonda la ricerca di un nuovo linguaggio espressivo su elementi e schemi essenziali del classicismo, evitando la banale ripetizione manieristica ed il semplice gioco stilistico.

L'esempio migliore di questo rinnovamento del linguaggio dell'architettura è la casa per residenze d'affitto altoborghesi in via della Moscova (angolo via Turati, quartiere Moscova), soprannominata, dall'opinione pubblica del tempo, la "Ca' Brüta".

L'operazione immobiliare prevedeva il raccordo del tessuto urbano sull'angolo fra le due arterie principali, via della Moscova e via Turati, lo sfruttamento massimo dell'area disponibile ed un attraversamento dell'isolato da parte di una strada carrabile, per dare continuità al radicato tessuto viario di quartiere, dando così una maggiore movimentazione anche ai relativi fronti urbani.

L'uso del linguaggio neoclassicista depurato, da parte di Muzio, è sottolineato dall'adozione senza nesso e continuità degli elementi stilistici sulle facciate curve e rettilinee della costruzione. Gli elementi decorativi e ripartizioni sono qui utilizzati in maniera deforme rispetto alla normale classicità; timpani, archi, oculi, obelischi, nicchie, cornici sono ridotti a semplici elementi bidimensionali, sottostando ad un uso teso a nascondere la vera natura dell'edificio stesso.

In facciata spicca la tripartizione verticale, caratterizzata dall'uso di tre diversi materiali quali travertino nell'alto basamento, intonaco grigio nella parte centrale ed intonaco chiaro in sommità, e l'arco d'ingresso principale che richiama una serliana di ordine gigante.

fig. 1.14 - *Ca' Brutta, Giovanni Muzio*

fig. 1.15 - *Casa della meridiana, Giuseppe de Finetti*

Nonostante la negativa nomea, questo esempio segna, di fatto, il rinnovamento del linguaggio architettonico in quegli anni; linguaggio che si prefigge di ricercare una nuova classicità e di essere architettura pienamente urbana.

Fra le altre opere significative di Giovanni Muzio negli anni Trenta, si ricordano: il Tennis Club Milano (1923 – 1929), il Monumeto ai Milanesi caduti in guerra (1927 -1929), la Sede dell'Università Cattolica del Sacro Cuore (1929 – 1932), gli edifici per abitazioni in via Giuriati (1931 – 1932), la Chiesa di S. Maria Annunciata in Chiesa Rossa (1932), il Palazzo dell'Arte – Sede della Triennale di Milano (1932 – 1933), gli edifici per abitazioni in via Longhi (1933 – 1934), in via Manin (1933 – 1934), in via Ampere (1934 – 1935), in via Monte Santo – "Casa dei Giornalisti" (1934 – 1936), in piazza della Repubblica – case Bonaiti e Malugani (1935 – 1937), in via Col Moschin (1939-40), in piazza S. Erasmo (1940), il Palazzo della Cassa di Risparmio delle Province Lombarde in via Verdi (1934 – 1940), il Palazzo della Provincia (1938-41), l'Arengario in piazza Duomo assieme a Magistretti, Portaluppi e Griffini (1937 – 1942).

1.4.2 GIUSEPPE DE FINETTI E LA CASA A "VILLE SOVRAPPOSTE"

Importante innovatore sul tema della residenza urbana, Giuseppe De Finetti (1892-1952) introduce all'interno del panorama architettonico milanese delle sostanziali novità che rispecchiano, marcatamente, la sua formazione all'estero: allievo e collaboratore di Adolf Loos, egli persegue la ricerca architettonica del suo maestro sull'abitazione.

Intelligente esempio di studio del problema è la casa a "ville sovrapposte", o casa della Meridiana (1924 – 1925) per via della decorazione in facciata raffigurante l'orologio solare.

Presupposto progettuale dell'architetto è la salvaguardia degli spazi verdi preesistenti sul lotto, evitando, come previsto dal piano regolatore allora vigente, di dividerli in due con il passaggio di una strada.

Invece, con il concetto di residenze a "ville sovrapposte", egli esprime la volontà di coniugare l'indipendenza abitativa della villa con il decoro del palazzo urbano e con l'esigenza del massimo sfruttamento del terreno urbano edificabile.

Fondamentali sono anche le novità relative agli spazi funzionali d'ingresso e di connettivo dello stabile: l'ascensore padronale e il corpo scale di servizio permettono di guadagnare dello spazio prezioso rispetto al tradizionale scalone di rappresentanza, oltre che a uguagliare il valore delle unità immobiliari poste ai piani superiori rispetto a quelle poste ai piani inferiori. L'accesso al fabbricato conserva, tuttavia, le peculiarità delle abitazioni di ceto signorile ed il pregio delle zone comuni; l'androne di accesso, coperto e carrabile, infatti, conserva la separazione fra l'ingresso padronale e quello di servizio. Dal punto di vista compositivo, il gioco di volumi, che si delinea a partire dal primo piano, è dato dalla continua variazione dell'orientamento e della disposizione planimetrica delle diverse unità abitative poste ai piani superiori, e permette, altresì, di attribuire una terrazza esclusiva ai tre appartamenti più alti. Al contrario, il basamento dell'edificio è costituito dal piano terra e dal mezzanino, che creano così una sola unità abitativa, la più prestigiosa. Anche gli elementi decorativi di matrice classica seguono questa logica, concentrandosi in buona parte sul prospetto principale del piano terra.

Al fine della ricerca qui proposta, è interessante esaminare anche l'edificio contiguo alla casa della Meridiana; la casa a proprietà suddivise (1928 – 1930), di via San Calimero (una delle prime di questo genere adibita a condominio), inverte il rapporto fra le diverse unità abitative: quella più prestigiosa occupa, attraverso la tipologia duplex, gli ultimi due piani, mentre al piano terra trovano posto solo l'autorimessa e diversi uffici.

Anche qui, come nell'esempio precedente, gli spazi di connettivo verticali sono connotati dall'ascensore padronale e dalla scala di servizio; solo l'ingresso, attraverso una "galleria" finestrata che conduce all'ascensore, conserva l'effetto scenografico del tradizionale ingresso signorile. La facciata principale, invece, risulta ben inquadrata in una

rigida griglia data dalle aperture, e caratterizzata da una semplificazione del linguaggio decorativo; semplificazione che, nell'opera di De Finetti, non si allineerà alle nuove tendenze stilistico-architettoniche e non cercherà mai riferimenti fuori dal linguaggio simbolico del Novecento.

fig. 1.16 - *Edificio per abitazioni ed uffici in via T. Salvini, Piero Portaluppi*

fig. 1.17 - *Edificio per abitazioni ed uffici, Piero Portaluppi*

1.4.3 PIERO PORTALUPPI

Allievo del maestro Gaetano Moretti, Piero Portaluppi (laurea in Architettura nel 1910 al Politecnico di Milano) si distingue per la capacità di saper far dialogare spunti diversi, come un elegante "collage"; il suo linguaggio si basa sulla rilettura dei motivi quattrocenteschi e barocchetti aggiornati da influssi della Secessione Viennese, degli Arts Déco e futuristi. Per i palazzi di abitazione e per gli uffici nel centro urbano, Portaluppi fa uso di un linguaggio classicista semplificato, distinguibile dal contesto eclettico abituale solo attraverso semplici novità decorative.

Tra gli anni Venti e Trenta, è uno degli architetti milanesi maggiormente impegnato nella riorganizzazione del centro urbano.

Fra le opere significative, si ricorda l'originale rifacimento stilistico della quattrocentesca casa degli Atellani (1919 – 1921) in corso Magenta a Milano, dove elementi dell'architettura sforzesca influenzano le decorazioni della facciata e decorazioni stile neo-barocchetto lombardo arricchiscono gli interni.

L'edificio per abitazioni e uffici in via Tommaso Salvini (1926 – 1930) è un mero esempio di architettura urbana di questi anni: l'intervento, infatti, tramite lo svuotamento a livello stradale del corpo edilizio centrale aggiunto su via Salvini, realizza il collegamento, voltato a botte, fra quest'ultima e corso Venezia. Sul piano stilistico, Portaluppi unisce citazioni diverse: alle decorazioni geometriche nella volta a botte e sulla di facciata, di proporzioni e forme differenti a livello delle aperture, si affiancano i pilastri in stile pseudo-dorico. Tuttavia, il fronte urbano su corso Venezia rimane continuo e ben composto, mentre il passaggio su via Salvini crea un cannocchiale prospettico su i Giardini del vicino parco.

L'edificio per abitazioni e uffici sito all'incrocio fra piazza S. Maria Beltrade e via Torino (1936 – 1938), nel suo linguaggio moderno e razionale, segna di fatto un nuovo corso delle sue recenti opere ancora caratterizzate da motivi eclettici. Nonostante il lotto sia situato nel vecchio tessuto urbano della città e confini con il tempio di San Sebastiano del Tibaldi, Portaluppi prende le distanza da vaghe connessioni stilistiche. L'enorme mole del complesso, che si sviluppa ad angolo, viene elegantemente movimentanta dai giochi di volumi che s'incastrano fra loro e dalle logge che si affacciano su via Torino (soluzione evidenziata ancora di più grazie alla diversità dei materiali di rivestimento), mentre entrambi i fronti risultano accuratamente scanditi ed ordinati dalle regolari aperture delle finestre. Fra le altre opere importanti di Portaluppi, nel panorama architettonico milanese degli anni Venti e Trenta, si ricordano anche: la casa Bassanini in viale Coni Zugna (1928), il Civico Planetario Ulrico Hoepli (1929), casa Crespi in corso Venezia (1927 – 1930), Palazzo Crespi in corso Matteotti (1927 – 1930), casa Radici DI Stefano in via Jan (1929 – 1931), Palazzo degli Omenoni in largo Mattioli (1928 – 1932), l'edificio per abitazioni in via Foppa (1935), il Palazzo dell'instituto Nazionale delle Assicurazioni in via Gonzaga (1933 – 1936), casa Wassermann in viale Lombardia (1935 – 1936), casa Portaluppi in via Morozzo della Rocca (1936 – 1939), l'Arengario in piazza Duomo assieme a Magistretti, Muzio e Griffini (1937 – 1942).

1.5 SVILUPPI E TRASFORMAZIONI URBANE

I grandi concorsi pubblici, il centro e le periferie nella Milano degli anni trenta

Durante gli anni venti, Milano vive, dal punto di vista economico-sociale italiano, un periodo di florido sviluppo nelle iniziative dell'industria nascente, nella finanza, nei servizi e nei rapporti con alte e colte istituzioni come l'università. Tuttavia, è limitata da un assetto urbanistico inadatto e dalla mancante sistemazione di aree nevralgiche per la città, di cui si prevedeva una rapida espansione negli anni successivi ("una metropoli da due milioni di abitanti"); questi, in via generale, furono i presupposti per il concorso pubblico nazionale del 1926 per il progetto di massima del Nuovo Piano Regolatore Generale e di ampliamento della città.

Il piano vincitore del concorso fu quello contraddistinto dal motto "Ciò per amor", anagramma dei progettisti Piero Portaluppi e Marco Semenza. Spinto dall'esigenza di una massiccia trasformazione e terziarizzazione del centro storico, con inevitabile riorganizzazione stradale, dei trasporti e dell'edilizia, il progetto prevedeva la ridefinizione dell'assetto topografico delle zone centrali attraverso la tabula rasa della città storica. Tuttavia, pur su queste basi, la redazione definitiva dello strumento urbanistico viene affidata all'ufficio tecnico comunale diretto da Cesare Albertini.

Il nuovo piano verrà attuato solo per fasi successive (la prima nel 1928 e la seconda nel 1930), e risentirà fortemente delle vicessitudini fra gli interessi edilizi privati da una parte, relativi alle aree del centro, e la speculazione sostenuta dal regime dall'altra; questo comporterà la completa demolizione di interi quartieri di pregio storico-ambientale e per niente degradati, aggravando le conseguenze urbanistiche di un modello di sviluppo fortemente indirizzato verso il centro della città. Corollario di ciò fu la grande quantità di risorse richieste che implicarono l'esteso coinvolgimento di istituti bancari ed assicurativi, dietro i quali, molto spesso, si profilavano l'elites del capitalismo delle importanti famiglie milanesi.

Malgrado ciò, va sottolineata la criticità e la sostenibilità economica dell'intera attuazione, che prende forma a cavallo della grande crisi economica internazionale del secondo ventennio del novecento, e l'evidente spread fra quelle che erano le previsioni e quelle che saranno le concrete attuazioni. La debolezza di questi strumenti urbanistici fece sì che l'espansione urbana di interi settori, oltre le mura spagnole, fosse caratterizzata in prevalenza dalla tipologia condominiale a blocco intensivo e, soprattutto, dall'eliminazione di elementi peculiari del tessuto urbano (le mura, i navigli, i giardini).

I principali interventi di riqualificazione del centro sono individuabili in un sistema attorno alla zona del Duomo: l'area a sud, est, nord-est della stessa piazza Duomo, la sistemazione di piazza San Babila, il nuovo palazzo di Giustizia sul corso di Porta Vittoria, il Palazzo dei Sindacati fascisti, il "quartiere degli Affari" e la nuova Borsa nei pressi di Piazza Cordusio, il riassetto del sistema ferroviario principale interno con il concorso per la Nuova Stazione Centrale e il relativo schema di accesso alla città, i lavori per la tombatura dell'anello dei Navigli.

1.5.1 L'AREA DI PIAZZA DUOMO

Gli interventi nelle aree limitrofe alla piazza del Duomo porteranno alla realizzazione di un unico spazio fra piazza Fontana e piazza Beccaria, demolendo gli isolati fra l'Arcivescovado e la vecchia sede del Tribunale, al taglio del quartiere Verziere fino alla colonna del Largo Augusto, prima, e fino all'altezza del Naviglio coperto di via Sforza poi.

Nella versione finale del progetto di sistemazione e apertura di piazza San Babila, Gio Ponti cerca di dare un aspetto il più possibile unitario all'intervento sugli isolati che danno sulla piazza stessa: tuttavia, i motivi compositivi di ordine colossale su i voluminosi

edifici tradiscono la solita propensione dell'architetto alla leggerezza che si avverte nella maggior parte delle sue opere.

1.5.2 IL NUOVO PALAZZO DI GIUSTIZIA

Il progetto per la nuova sede del Palazzo di Giustizia, che sorge sull'ex area della caserma di Artiglieria a cavallo in corso di Porta Vittoria, viene affidato a Marcello Piacentini con l'intento di dotare la città fascista di un simbolo carico di una forte simbolicità; la mole imponente dell'opera, rese inevitabile demolizioni e completi abbattimenti nell'intera area della caserma, non risparmiando nemmeno l'antico monastero delle Schiave di Maria né la chiesa di San Filippo Neri.

fig. 1.18 - *Nuovo Palazzo di Giustizia, Marcello Piacentini*

1.5.3 IL QUARTIERE DELLA BORSA VALORI

Il progetto per il "quartiere degli Affari", invece, è figlio unicamente di un'autonoma iniziativa del consiglio dell'Economia, ponendo l'ufficio tecnico di fronte alla soluzione compiuta. L'intervento, che assieme al palazzo della Borsa, progettato da Paolo Mezzanotte e Gio Ponti, prevedeva il definitivo completamento degli edifici della piazza, fa emergere tutti i suoi lati negativi: la scarsa accessibilità ed efficienza dal punto di vista della circolazione e il carente interesse per le preesistenze, rendono più che mai netto il contrasto e la mancanza di ricucitura con il residuo tessuto urbano circostante.

fig. 1.19 - *Palazzo della Borsa, Paolo Mezzanotte e Gio Ponti*

1.5.4 PALAZZO DEI SINDACATI FASCISTI

Il concorso per questo edificio fu vinto da Angelo Bordoni, Luigi Caneva e Antonio Carminati, nel 1929, per l'idea originale legata al concetto di architettura urbana; la grande piazza centrale (che "custodice" un auditorium posto al di sotto) mette in relazione l'edificio con la città e al tempo stesso lo delinea da essa con il suo dislivello rispetto al piano stradale. Esempio trionfale della subordinazione dell'architettura pubblica al regime fascista, l'edificio presenta un rivestimento in mattoni, con inserti in pietra chiara, ed un fastigio centrale di archi tamponati sul fronte principale.

1.5.5 LA NUOVA STAZIONE CENTRALE

Nel concorso del 1912 per la Nuova Stazione Centrale (1913- 1931, il bando riguardava solo l'edificio viaggiatori), vinse il progetto dell'architetto Ulisse Stacchini, anche se, in fase di attuazione, esso verrà continuamente rimaneggiato; l'edificio, che presenta il problema del dislivello fra il piano dei binari e l'accesso alla stazione stessa, assume un carattere architettonico prettamente trionfale ed imponente.

La facciata, secondo un gusto prevalentemente eclettico, sovrabbonda di decorazioni e altorilievi che trasformano l'architettura in una "scultura continua". Mentre all'interno, a parte la funzionalità pienamente raggiunta per le esigenze dell'epoca, spiccano gli immensi lucernari e le enormi coperture a botte del piano binari, entrambe in ferro. Le strutture sono interamente in calcestruzzo armato, mentre i rivestimenti, sia delle facciate esterne che degli interni, sono realizzati in pietra aurisina e marmo del Carso (come sostegno all'economia delle zone colpite dal primo conflitto mondiale). Una nota va senz'altro fatta riguardo alle innovazioni apportate in fase di realizzazione con l'uso di torri Ransom a supporto delle altre apparecchiature di cantiere e per la lavorazione del calcestruzzo.

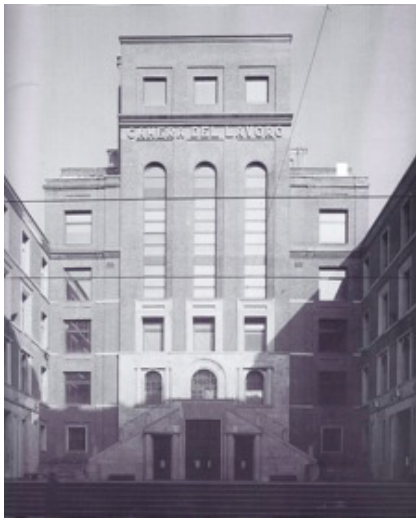


fig. 1.20 - *Palazzo dei sindacati fascisti, Luigi Caneva e Antonio Carminati*

Infine, merita in questa sede la citazione ad un nuovo modello di organizzazione e di collaborazione fra i principali protagonisti milanesi dei primi anni Trenta: la decisione di lavorare, fare ricerca ed intervenire sui nuovi temi sulla città, sempre in forma collettiva. La volontà di affrontare attraverso le conoscenze e gli strumenti tecnici della professione i temi importanti della trasformazione urbana di Milano, sarà la connotazione principale di un nuovo gruppo di architetti (De Finetti, Fiocchi, Lancia, Muzio, Ponti, Alpago Novello, Cabiati e Ferrazza) chiamati: Club degli Architetti-Urbanisti in Milano o, semplicemente, Club degli Urbanisti. Prerogative di questo Club, sulla trasformazione urbana della città lombarda, furono l'esigenza e la necessità dello spostamento del traffico tangenzialmente al centro, la salvaguardia del verde e del tessuto urbano antico.

1.6 IL MOVIMENTO MODERNO A MILANO

In contrasto con l'accentuata monumentualità espressa dal gruppo Novecento, la formazione dei giovani architetti razionalisti, tuttavia, non riuscì, salvo sporadiche eccezioni, in quel rinnovamento della progettazione architettonica ed urbanistica che interessò con successo altre realtà europee; si limitò quasi ed esclusivamente all'impaginazione delle facciate esterne senza modificare sostanzialmente la conformazione dei tipi di edifici, sostenendo una ricerca formale ampiamente indipendente dalla quella tipologica.

In particolare a Milano, le poche realizzazioni furono attuate per committenti privati su edifici per abitazione, nei quali la sperimentazione sulla tipologia si limitava all'ingegnosità del sistema distributivo di singole case o degli appartamenti all'interno di un condominio per rispondere alle esigenze degli acquirenti.

Gli unici esempi che applicarono i "cinque punti" di Le Corbusier sul problema dell'abitazione a Milano, furono l'edificio a "ville sovrapposte" (1932-34) di Figini e Pollini in via Annunciata, e la villa Figini all'interno del Villaggio dei giornalisti; in quest'ultima, pur non esente da alcuni formalismi del periodo, spicca per l'elevato controllo delle proporzioni e delle misure eseguito su ogni elemento, che la rendono un esempio di architettura ben bilanciata inserita in uno spazio limitato.

Significativa, inoltre, è la serie di cinque case eseguite a Milano, tra il 1933 ed il 1937, da Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni, le quali esprimono, attraverso affini motivi formali e metodi compositivi, il tema edilizio e urbano della casa multipiano a media ed alta densità, di livello economico medio, che segnerà buona parte della trasformazione ed espansione della città. Non è un caso, infatti, che esse sorgano nella stessa area (zona Isola – Stazione Centrale), oggetto di una decisa riorganizzazione della città, precedentemente occupata da uno storico quartiere operaio. La casa Rustici in corso Sempione, come la casa della Meridiana di De Finetti e la Ca' bruta di Muzio, rimetteva nuovamente in discussione il rapporto tra tipologia e lotto edificabile, tra fronte, retro e cortile; la continuità del fronte stradale è negata dalla divisione dell'edificio in due corpi di fabbrica, ma tuttavia viene ristabilita dalle balconate "sospese" che la collegano. In facciata, le soluzione adottate sono più semplici rispetto alla forza delle analoghe opere comasche, come il Novocomum: basamento e piano attico si distinguono nel rispetto agli altri piani rivestimento (marmo e intonaco), mentre le aperture non seguono lo schema delle finestre a nastro, ma riprendono il ritmo dei balconi e delle pareti aggettanti su di essi.

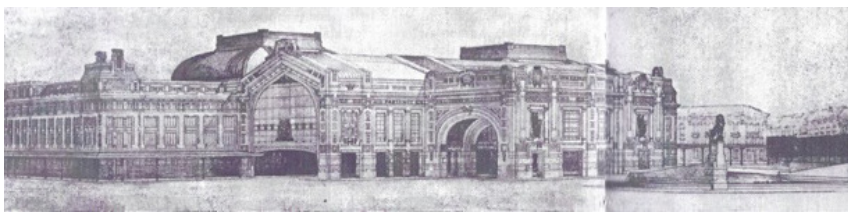


fig. 1.21 - *Nuova stazione centrale, Ulisse Stacchini*

Proprio questi elementi sospesi, che scandiscono il fronte principale, delineano una maglia trasparente e traforata che avvolge i singoli volumi dell'edificio; se per questo motivo è stata anche descritta come "architettura aerea", essa tuttavia ritrova nel suo aspetto solido e massiccio uno stretto legame con l'edilizia milanese.

Anche nella casa Rustici Comolli (altra proprietà della famiglia Rustici), l'impianto a "C" viene scomposto in due corpi di fabbrica successivamente uniti da balconi sospesi, lasciando comunque spazio all'articolata composizione dei volumi.

Uguale discorso, salvo la suddivisione del corpo di fabbrica, è riscontrabile in casa Ghiringhelli, dove gli aggetti volumetrici dei fronti si affiancano le irregolarità planimetriche che scompongono la massa dell'edificio.

Casa Lavezzari, invece, si contraddistingue dalle altre per la sua conformazione planimetrica a "V", che accentua maggiormente la scomposizione dei volumi; i due corpi di fabbrica, infatti, convergono verso l'apice del lotto, che confluisce verso il centro di una piazza, intersecandosi ma senza saldarsi completamente. Su ogni fronte aggetta un volume rettangolare interposto fra le solette dei balconi sui lati, e le finestre sono a nastro.

Casa Toninello è l'unica, invece, inserita in un fronte continuo e compresa tra due edifici laterali.

La disposizione dell'impianto è a "C", lasciando i due corpi comunque autonomi e separati, tuttavia l'unica scala laterale impongono qui il ricorso a passaggi coperti interposti tra i piani a livelli sfalsati rispetto a quelli dei solai.

La "Milano Verde", invece, esprimeva l'idea del gruppo di architetti razionalisti associati sotto la sigla 5CM (Piero Bottoni, Pietro Lingeri, Gabriele Mucchi, Mario Pucci e Giuseppe Terragni) di uno sviluppo urbano integralmente affine ai principi moderni: un quartiere residenziale composto da alte case a terrazza, considerato "quartiere modello, quartiere del popolo", sviluppato lungo l'asse alberato fra corso Sempione e corso Vercelli (asse Duomo-Sempione), in prossimità dell'area in oggetto per il concorso della nuova sede della Fiera in zona San Siro. Esso, per lo più, puntava alla reintegrazione della funzione residenziale sul perimetro espositivo dell'ex piazza d'Armi in zona Sempione, inserendo il sistema insediativo, basato sulla divisione dei traffici, sull'asse di una sopraelevata per il collegamento rapido con il centro della città.

Tuttavia, nell'acceso dibattito e nelle contrapposizioni fra il gruppo Novecento e i giovani architetti razionalisti, che si alimentavano in questi anni, si rilevano sostanziali convergenze e similitudini nella ricerca di un nuovo ordine compositivo, nella chiarezza costruttiva e semplificazione linguistica, tuttavia intese in chiavi di lettura diverse; se per i razionalisti ordine e ragione erano prevalentemente uso e funzione per un nuovo linguaggio, per il gruppo Novecento significavano classicità e semplificazione stilistica.

fig. 1.22 - *Casa Rustici, Pietro Ligeri e Giuseppe Terragni*

fig. 1.23 - *Casa Rustici Comolli, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni*

fig. 1.24 - *Casa Lavezzari, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni*

fig. 1.25 - *Progetto Quartiere modello, quartiere del popolo, SCM*

fig. 1.26 - *Casa in via Domenichino, Gio Ponti*

fig. 1.27 - *Casa e Torre Rasini, Gio Ponti*

fig. 1.28 - *Domus in via De Togni, la Julia, la Carola e la Fausta*

1.7 GIO PONTI E LA CASA ALL'ITALIANA

Sul tema dell'abitazione, un discorso a parte merita Gio Ponti (1891-1979). Formatosi nel clima del rinnovamento proposto dai giovani milanesi del "neoclassico", oltre che a sperimentare largamente nel campo del design nell'arredamento e negli oggetti domestici, rivolse particolare riguardo al tema e alle tipologie dell'abitare: poneva sullo stesso piano sia gli "elementi d'avanguardia" introdotti dal movimento razionalista sia il valore della "naturalezza delle abitudini", le soluzioni "perfettamente funzionali" e "il nobile e latino senso" della casa italiana. Il suo merito è stato nella messa a punto di tipologie abitative prive delle caratteristiche "ideologiche" relative alla ricerca architettonica del movimento moderno: questo segna il passaggio dal pensiero di matrice tedesca della "casa esatta", a quello di "casa adatta" da lui identificato in "casa all'italiana".

Nella casa all'italiana Ponti afferma l'importanza trascendentale del "comfort" inteso come qualcosa di diverso rispetto alla concezione razionalista del tempo che vedeva la casa solo come machine à habiter; esso, secondo il suo originale pensiero, "non è solo nella rispondenza delle cose alla necessità, ai bisogni, ai comodi della nostra vita e all'organizzazione dei servizi. .. codesto suo comfort è in qualcosa di superiore, esso è nel darci con l'architettura una misura per i nostri stessi pensieri, nel darci con la sua semplicità una salute per i nostri costumi, nel darci con la sua accoglienza il senso di una vita confidente e numerosa".

Fra le sue opere milanesi di maggiore rilevanza ai fini di questa indagine sull'abitazione, spiccano la casa in via Domenichino, la Casa e Torre Rasini e la serie di domus e case d'abitazione medio-borghesi per Milano.

La casa in via Domenichino (1928-1930)

Gli elementi innovativi di questo progetto spinti dalla forma ad angolo del lotto e dalla forte verticalità dell'edificio, rispetto ai canoni contemporanei della classicità ritrovata, consistono nel sostituire l'articolata decorazione con un marcato effetto cromatico (colore rosso terranova) sulla parte centrale, in acceso contrasto con i colori chiari del basamento e della torretta.

La Casa e Torre Rasini (1933-1934)

Il complesso architettonico, che sorge tra i bastioni ed il corso di Porta Venezia, è composto da un edificio in linea e da una torre entrambi destinati ad abitazioni di alto livello.

La torre, che rappresenta una voluta citazione degli antichi bastioni spagnoli (torre di controllo dei confini, garantire la visibilità da lontano), mostra un sofisticato trattamento nel rivestimento delle masse murarie, disposto secondo due orientamenti diversi dei piccoli mattoni di clinker di cui se ne apprezzano le raffinate composizioni geometriche simmetriche e la meticolosità del disegno. Mentre sulla parte terminale, che arretra sempre più salendo, trovano posto fastigi di diversa forma (archi, telai..) che prescindono dall'idea della pittura metafisica.

L'edificio in linea, invece, nella sua assoluta semplicità, presenta facciate connotate dalla scansione dei balconi centrali, dal ritmo dei pieni e vuoti, nonchè dal nobile rivestimento in marmo chiaro, lo stesso che Ponti utilizza nel "fasciare" i liberi diaframmi posti sulla terrazza; elemento questo, curato nella sua elegante disposizione degli spazi di vita, del verde e dell'acqua, destinato a divenire vera e propria architettura che completa l'abitazione stessa e da cui poter godere in maniera più ampia della città.

1.7.1 LE DOMUS PER MILANO

Domus in via De Togni: la Julia, la Carola e la Fausta (1931-1933)

Convinto della funzione sociale dell'abitazione come espressione dell'unità fondante del nucleo famigliare, Ponti formula la concezione della casa come adempimento al necessario "bisogno di spazio".

Questo lo porterà, nelle domus di via De Togni, a ridurre al minimo gli ambienti di servizio (cucina, bagno, stanza della donna, anticamera) per la creazione di un unico ambiente dove poter liberamente comporre soggiorno, sala da pranzo e studio, mediante una serie di arredi "mobili" che non né intaccassero l'unitarietà spaziale.

Inoltre, fra gli altri elementi caratteristici si notano: l'assialità nella composizione e nella disposizione degli ingressi, al piano terra, e degli aggetti, via via più importanti andando verso l'alto, in corrispondenza delle aperture ai piani superiori, l'arretramento dei fronti dal filo stradale per consentire l'accoglimento di aree verdi, nonché l'attento studio cromatico delle facciate stesse e delle loro singole componenti (giallo ocra per la Fausta, rosso mattone per la Carola e verde per la Julia).

1.8 DALL'ARCHITETTURA TARDO-MODERNISTA AL NEO-RAZIONALISMO

Secondo la convenzione storiografica, la fase più recente della Contemporaneità inizia nel 1945, col termine del secondo conflitto mondiale. Dopo la seconda guerra mondiale infatti, le condizioni economiche, sociali e politiche hanno vissuto una profonda trasformazione rispetto alla precedente epoca interbellica e primo-novecentesca.

Si tratta di mutamenti tanto profondi da non rendere quasi più riconoscibile nel nuovo linguaggio architettonico la premessa storica di derivazione moderna. All'architettura proposta dal Movimento Moderno è subentrata infatti un' interpretazione progettuale assai più variegata ed eterogenea, caratterizzata da una ricca molteplicità di linguaggi di varia derivazione.

Questa totale rottura con il movimento moderno e i suoi principi, non assunse tuttavia nella città di Milano quella assolutezza e spettacolarità che invece caratterizzò alcuni progetti in Europa e nel mondo. Il panorama costruttivo della nuova città appare infatti composto da un articolato campionario di interventi mai veramente in conflitto tra loro, a testimonianza del carattere di moderato eclettismo tipico del nuovo spirito progettuale milanese che abbandonò le vecchie posizioni razionaliste anteguerra dapprima attraverso un nostalgico recupero e una velata reinterpretazione dei dettami del Movimento Moderno, e, successivamente, con un sempre più evidente allontanamento da dette posizioni.

Tra i vari ambiti architettonici che presero forma in progetti più o meno concreti, Il tema dell'abitazione fu senza dubbio centrale nel dibattito politico e culturale del tempo. Si osserva infatti una naturale convergenza tra la politica di ricostruzione urbanistica sostenuta dalla giunta comunale in seguito alle devastazioni prodotte dalla guerra, e l'impegno dimostrato dalla comunità progettista chiamata a collaborare nella stesura del piano di ricostruzione del 1945.

Tale trend trova conferma nell'impegno di Piero Bottoni nel promuovere la realizzazione d'un quartiere modello (QT8) sulle orme dell'esperienza razionalista anteguerra. Piero Bottoni infatti, in qualità di commissario straordinario della VIII° triennale

di Milano, si avvalse della sua importante posizione all'interno di detto evento culturale, al fine di promuovere la realizzazione d'un quartiere modello che fungesse da esempio nella realizzazione di un più ampio progetto di costruzione di un insieme di "quartieri satellite" previsti nel nuovo piano regolatore come base per una futura espansione della città. Tuttavia, le diverse rielaborazioni che il progetto dovette affrontare, fecero perdere di intensità il forte carattere razionalista con cui l'intervento era stato originariamente concepito, cedendo il passo ad una elaborazione assai più confusa ed incoerente.

Ancora più deludente fu il risultato ottenuto nei rimanenti quartieri realizzati dallo IACP milanese e nei due piani Ina-Casa realizzati tra il 1949-1963. Questi ultimi in particolare, videro un iniziale congruenza con i principi razionalisti anteguerra, che tuttavia andò perdendosi negli ultimi progetti assumendo già a partire dai primi anni '50 un carattere compositivo più creativo e disinvolto (come nel caso del quartiere Harar realizzato su progetto di Figini, Ponti e Pollini).

Come pare evidente, il passaggio dal Movimento Moderno ai linguaggi stilistici che si imposero sullo scenario internazionale in seguito al secondo conflitto mondiale, fu un processo graduale ed indolore nel caso della città di Milano. Diversi furono infatti gli interventi che alle soglie degli anni '50 prendevano ancora ispirazione dai dettami propri del razionalismo più puro.

Se da un lato infatti, l'architettura tardo-modernista milanese possiede una estrema somiglianza con le forme dell'Avanguardia novecentesca e dell'International Style, è anche vero che le sue modalità espressive cominciano ad essere anche il frutto dell'accoppiamento di detti gusti con un nuovo linguaggio stilistico diverso da autore ad autore. Nella specifico, alcuni attingono dallo stile moderno più tradizionale, altri invece propongono un particolare mix stilistico tra lo stile razionalista inter-bellico ed un proprio linguaggio innovativo.

I primi sono comunemente definiti "Fondamentalisti" la cui linea espressiva è fondata sull'uso di volumi dalle geometrie pure, ritmate da scansioni squadrate ripetute modularmente, privi di inutili decorazioni; i secondi invece propongono una interpretazione più innovativa rispetto al linguaggio Neo-razionalista dei Fondamentalisti. Tra i più celebri Fondamentalisti troviamo nomi come Piero Bottoni (con il suo palazzo polifunzionale in c.so Buenos Aires risalente al 1947-51 e il palazzo Ina in c.so Sempione 1953-58), ma anche il team composto da Mario Asnago e Claudio Vender che, con il loro edificio per uffici in via Albricci del 1950-52 e l'edificio XXI Aprile in via Lanzone del 1951-53 , proporranno uno stile che, per l'essenzialità quasi astrattista, tende verso un linguaggio addirittura "iper-razionalista", aniconico, quasi fuori dal tempo.

Costoro con i loro interventi hanno affrontato il tema delle preesistenze ambientali proponendo una architettura "mimetica", ovvero una architettura che non possedendo alcun carattere innovativo sapesse inserirsi in modo del tutto discreto all'interno del contesto urbano già presente. Con l'incedere degli anni '50 però, anche le posizioni più nostalgiche cominciano ad ammorbidirsi ed a risentire dell'influenza di un linguaggio più variegato. Ne è un esempio il sofisticato espressionismo astratto utilizzato da Luigi Moretti nelle sue case-albergo in via Corridoni, in via Lazzaretto ed in via Bassini realizzati tra il 1947-1950, e l'istituto Marchiondi (1953-57) di Vittoriano Viganò con la sua spiccata componente espressionistica posta in dialettico contrasto con il panorama edilizio della città.

Impossibile poi non ricordare l'innovativo grattacielo Pirelli curato da Giò Ponti (tra i più alti grattacieli in cemento armato nel mondo dall'alto dei suoi 127 m), e la Torre Velasca del gruppo BBPR.

E'proprio quest'ultima opera che più d'ogni altra rappresenta al meglio quel movimento innovatore in aperto dibattito con le posizioni neo-razionaliste più tradizionaliste. L'approccio contestualistico nato dal dibattito sulle preesistenze ambientali in occasione del CIAM del 1959, è un importante elemento all'interno del linguaggio vernacolare post-moderno che si stava diffondendo in quegli anni e che trova nella Torre Velasca il suo momento più alto.

Con il suo caratteristico profilo a torre gotica, la Torre Velasca (1950-59) rispecchia in pieno quel processo di rivisitazione linguistica ottenuto attraverso una singolare miscellanea tra un linguaggio di carattere più vernacolare (in evidente il riferimento alle torri medievali lombarde, alla torre del Filarete presso il Castello Sforzesco, ed al carattere gotico del vicino Duomo), e gli stilemi proposti dal razionalismo. Realizzata dal gruppo BBPR (Banfi, Belgiojoso, Peressutti, Rogers), la torre sita nell'omonima piazza Velasca da cui prende il nome, venne realizzata sulle ceneri di una area devastata dai bombardamenti angloamericani del 1943. Con la sua caratteristica forma a "fungo", l'edificio ospita nei primi diciotto piani e nei due livelli sotterranei attività di carattere terziario e commerciale, mentre negli otto piani superiori appartamenti. La particolare forma che oggi costituisce uno degli elementi di riferimento dello skyline della città lombarda, non rappresenta però un mero capriccio compositivo; esso è altresì il prodotto di un lungo processo di progettazione che trova il proprio fondamento sia nella ricerca di risposte puntuali al problema della scarsità di superficie al suolo, sia nel regolamento edilizio che ammetteva un diverso indice di fabbricabilità a seconda della destinazione d'uso del volume edificato.

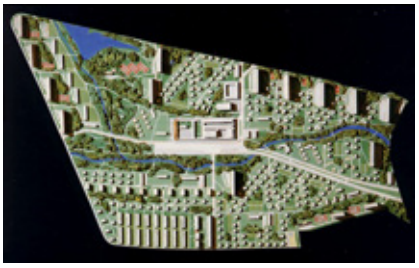


fig. 1.29 - *Masterplan quartiere QT8*

fig. 1.30 - *Masterplan quartiere QT8*

fig. 1.31 - *Logo INA Casa*

1.8.1 POST-MODERNISMO

Tra architettura radicale e speculazione edilizia

Con l'avvicinarsi degli anni '60, la costante crescita demografica, frutto in buona parte dei moti migratori che a partire dal sud Italia hanno condotto migliaia di lavoratori al nord, ha trovato una pronta risposta da parte della popolazione progettista. E' proprio questo il periodo dei primi grandi interventi di lottizzazione delle vaste aree dell'hinterland milanese.

I piani prevedevano la realizzazione sia di grandi complessi residenziali che industriali (oggi vecchi baluardi a ricordo della centralità del ruolo ricoperto dalla città negli anni del boom economico) che, data la loro posizione decentrata rispetto al nucleo storico della città, andassero a definire un nuovo spazio urbano, una cosiddetta "città-regione". Tra i principali interpreti si ricordano Mario Bacigalupo ed Ugo Ratti con la loro torre per uffici Eni (1961-62) a San Donato Milanese; Giuseppe Olivieri, Marcello Nizzoli ed Enrico Mattei con il progetto metanopoli sempre a San Donato Milanese; Angelo Mangiarotti col suo edificio industriale a Monza del 1964-65; Marco Zanuso artefice della sede Ibm a Segrate del 1968-75; Ignazio Gardella con il suo stabilimento Ibm a Vimercate del 1976, gli uffici dell'Alfa Romeo ad Arese del 1969-72, e lo stabilimento Kartell a Noviglio, del 1971-75.

Proprio sull'onda di questo fenomeno immobiliare nacquero per tutto il decennio successivo, piani di lottizzazione che in taluni casi per le dimensioni assunte, si avvicinavano più a piani urbanistici che di nuova costruzione. E' il caso ad esempio di Milano 2 e 3 in zona Basiglio, dei centri residenziali a Milano San Felice e Viridiana, dei centri direzionali e commerciali di Lacchiarella, Milanofiori e Assago.

Questi interventi tuttavia, a differenza di quanto verificatosi in precedenza, non ambiscono ad essere dei laboratori in cui sviluppare un nuovo linguaggio creativo, bensì spesso non sono null'altro che un escamotage speculativo di grande attrattiva per la classe imprenditrice locale.

Una delle rare alternative ad una offerta abitativa priva di alcun valore artistico, è il complesso residenziale di Carlo Aymonino e Aldo Rossi a Gallarate del 1967-72.

In risposta a questo diffuso atteggiamento speculativo che stava generando un paesaggio architettonico composto da mostri ecologici, durante gli anni delle contestazioni studentesche del '68, si viene a definire un nuovo fenomeno architettonico detto "architettura radicale". L'architettura radicale rappresenta un movimento di neoavanguardia sviluppatosi in Italia in sintonia con i dibattiti internazionali che stavano stravolgendo la tradizionale disciplina progettuale.

Il movimento trova espressione attraverso la voce di gruppi di giovani architetti

fig. 1.32 - *Quartiere INA Casa*

fig. 1.33 - *Palazzine INA Casa in corso Vittorio*

fig. 1.34 - *Edifici in via XXV Aprile*

fig. 1.35 - *Grattacielo Pirelli, Gio Ponti*

accumunati dalla partecipazione al dibattito culturale, politico e sociale, che propongono una diversa figura dell' architetto. Costoro attribuiscono alla figura del progettista un ruolo positivo, ossia quello di propositore di nuovi assetti sociali, che non si limita a progettare delle semplici unità edilizie, ma che lavora per il cambiamento della società utilizzando gli stessi mezzi della nuova società. Essi sono accumunati dal rifiuto dello spazio architettonico tradizionale, creatore di disuguaglianze. Quest'ultimo viene difatti sostituito da una multi-disciplina volta a sviluppare una progettazione di spazi fisici e mentali anticonformisti. Per raggiungere tale scopo approfondiscono il rapporto tra individuo e società dei consumi, servendosi di scritti, progetti utopici e provocatori, disegni, performances, installazioni, foto e video, oggetti di antidesign.

Il movimento in realtà non ha prodotto a Milano dei concreti esempi di architettura radicale ma ha dato un contributo fondamentale nel superamento dei tradizionali canoni progettuali di derivazione moderna, proponendo una estroversa ibridazione tra diversi campi culturali quali quello dell'arte, dell'architettura, della letteratura e della moda solo per citare alcuni esempi. A Milano in particolare, l'architettura radicale conta tra i propri interpreti più attivi Franco Raggi e le riviste «Domus» e «Casabella», dirette da Alessandro Mendini dal 1970 al 1976, e le riviste «In» e «Progettare In più», dirette da Ugo La Pietra, pioniere nella formulazione del movimento radicale nelle arti. w

1.9 MILANO OGGI

Milano oggi rappresenta una delle più importanti realtà progettuali presenti sul territorio italiano. Grazie alla sua vocazione imprenditoriale, Milano vuole sottolineare la propria centralità nel panorama economico mondiale ergendosi a portavoce delle ultime tendenze progettuali. I campi maggiormente interessati da questo fermento culturale, riguardano principalmente il design, la moda e la progettazione architettonica.

Grazie al particolare mix creativo tra design e architettura di derivazione radicale, sempre più spesso la città vede arricchirsi di nuove realizzazioni dall'originale creatività compositiva. Se da un lato non è più possibile riconoscere un preciso linguaggio architettonico negli interventi di ultima realizzazione, proprio questa assoluta varietà compositiva rappresenta il nuovo valore aggiunto che conferisce alla città quel quid in più rispetto ad altre realtà progettuali di stampo più tradizionalista.

E' proprio sulla base di questa spinta che negli ultimi anni la città ha vissuto un momento di grande rinnovamento sia attraverso la realizzazione di nuovi interventi edilizi al passo con gli ultimi trend internazionali, sia rivestendo un ruolo attivo all'interno di eventi culturali di portata mondiale (caso esemplare è rappresentato dell'Expo 2015). Ma Milano oggi non è solo il duomo o i navigli o c.so Sempione. Milano oggi è una realtà estesa che abbraccia ampie aree nell'hinterland circostante; aree che per vicinanza e livello di urbanizzazione, sono comunemente considerate come parte integrante della città.E' esattamente in queste realtà che, in seguito alla dismissione dei vecchi poli industriali ivi situati, si sta osservando una graduale riconversione delle aree in favore di scelte progettuali più vicine alla nuova realtà commerciale e lavorativa. Questa tendenza ha determinato l'inizio d'un processo di dismissione dei grandi centri produttivi più prossimi al centro urbano (ex area Breda oggi Bicocca Village, industria Pirelli, industrie Falk, Montedison, Alfa Romeo, ecc...), in favore della realizzazione di spazi dedicati principalmente ad attività terziarie e commerciali, nonché di servizi al cittadino.

Alcuni tra i più importanti interventi di riconversione e riqualifica sono attualmente curati da importanti nomi dell'architettura internazionale come nel caso dell'ex area Falk a Sesto san Giovanni investita da un importante progetto di riqualifica e riconversione diretto dal celebre architetto Renzo Piano.

1.9.1 FOCUS SULLO SVILUPPO DELLE AREE LIMITROFE ED IMPORTANTI

Tra gli interventi di riconversione sopracitati, si analizzano ora quattro aree limitrofe al sito di progetto ed importanti di Milano, che si distinguono per il loro carattere contemporaneo. Queste architetture diventano quindi elementi da tenere in considerazione in ambito della progettazione di una nuova costruzione.

1.9.2 AREA BRERA

Brera (da "braida", parola che nella bassa latinità aveva il significato di campo suburbano) è un quartiere storico di Milano, oggi è ritenuto uno dei quartieri più vivi della città. È un luogo ricco di fascino e di cultura, abituato a precorrere le tendenze, dove arte, moda, design si intrecciano. Un luogo variegato, accogliente, caldo, percorso da grande fermento creativo ed artistico, dove la cultura si mescola allo shopping e al divertimento.

Negli anni questo quartiere è diventato il punto di riferimento del design milanese, per la presenza di diverse gallerie e showroom.

La sua impronta prettamente di carattere artistico è senza dubbio dovuta alla presenza dell'Accademia di Belle Arti di Brera che negli anni ha attirato grandi artisti da tutto il mondo.

L'Accademia e la Pinacoteca di Brera

L'area del complesso di Brera contenente la Pinacoteca inizia ad essere occupata dopo l'anno Mille da un ordine monastico (gli Umiliati) che vi insediano il proprio convento, oggi completamente perso.

Nel XVI secolo, su richiesta del cardinale Borromeo, viene abolita la congregazione degli Umiliati, e il convento, con i terreni adiacenti, viene affidato ai Gesuiti con l'impegno di creare delle scuole e un collegio. I primi risultati si hanno con Francesco Maria Richini (intorno al 1627), figura dominante dell'epoca, che restaura il convento e crea delle nuove aule scolastiche.

La progettazione da parte Richini prevede la realizzazione di un grande cortile rettangolare a due ordini di logge a serliane. La morte di Richini non porta all'interruzione dei lavori, tutti i suoi progetti sono portati avanti fino alla realizzazione dell'edificio che tuttora caratterizza il tessuto urbano. Elemento innovativo estraneo al progetto di Richini è l'inserimento dell'osservatorio astronomico.

Nel 1776 viene fondata l'Accademia delle Belle Arti che tuttora occupa buona parte del complesso; nel 1801 con la nomina di Giuseppe Bossi come commissario per le Belle Arti si avvia l'introduzione della Pinacoteca, prima solo una semplice galleria di quadri in seguito una dei musei più di spicco d'Italia. Il suo impianto rimane invariato implementandosi solo per i contenuti esposti fino al secondo conflitto mondiale in cui venne danneggiata. Nel 1946 incomincia la ricostruzione affidata a Portaluppi e in minima parte da Albini; il Museo viene rinnovato nelle sue parti mantenendo una moderata modernità.

Con gli anni Settanta inizia una serie di vicende alterne che segnano la storia recente del Museo, la scarsa manutenzione e la carenza di spazi porta alla denuncia dei mali di Brera e alla chiusura polemica della Pinacoteca (1974).

Queste manifestazioni portano all'avvio del progetto "La Grande Brera"(1976), che punta all'ampliamento degli spazi indispensabili per un Museo moderno. Da allora il Museo ha avuto perfezionamenti che hanno permesso di guadagnare alcuni spazi a disposizione, ma non si è assistito ad un radicale rinnovamento.

fig. 1.36 - *Torre velasca, BBPR*

fig. 1.38 - *Torre velasca, BBPR*

fig. 1.37 - *Stabilimento Kartel*

fig. 1.39 - *Milano 2*

fig. 1.40 - *Corte interna coperta della Pinacoteca di Brera*

fig. 1.41 - *Piccolo Teatro Strehler*

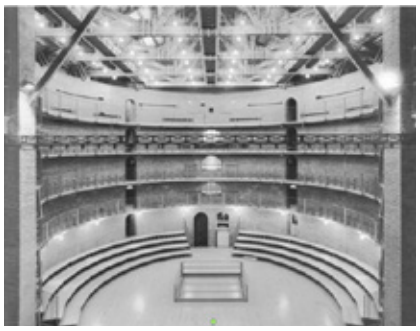


fig. 1.42 - *Teatro studio Fossati*

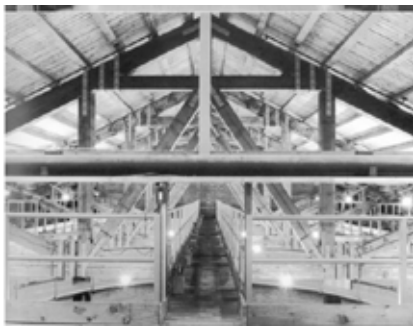


fig. 1.43 - *Teatro studio Fossati*

Il progetto "la grande Brera" oggi

Il progetto messo in discussione nel 1976 riguardante "La Grande Brera" si è protratto fino ai giorni nostri. Oggi si vuole trasferire parte della didattica nell'ex-caserma militare di via Mascheroni così da permettere il restyling della Pinacoteca. Il progetto è stato affidato dai Beni Culturali all'architetto Bellini, l'intento è quello di far uscire dai depositi i tesori sacrificati per mancanza di spazio e fornire il museo di un info-point, una caffetteria e un ristorante.

Nel 2011 il Politecnico di Milano ha eseguito uno Studio di Fattibilità per definire i costi e i tempi necessari per la realizzazione, precondizione necessaria per avviare una "cordata" di imprenditori.

Brera e i teatri

La presenza del Piccolo Teatro con tutte le scuole teatrali annesse ha reso il quartiere di Brera tra i più fervidi della città. Fondato il 14 maggio 1947 da Giorgio Strehler, Paolo Grassi e Nina Vinchi, il Piccolo Teatro di Milano è il primo Teatro Stabile italiano, in ordine di tempo, nonché il più conosciuto, in Italia e all'estero.

Il Piccolo gestisce attualmente tre sale: la sede storica (500 posti), ribattezzata Piccolo Teatro Grassi, recentemente oggetto di un restauro conservativo; lo spazio sperimentale del Piccolo Teatro Studio (370 posti), edificio dove è ospitata anche la Scuola di Teatro; la sede principale di 982 posti, inaugurata nel gennaio 1998, che porta il nome di Piccolo Teatro Strehler.

Il piccolo teatro Strehler

L'idea di realizzare il Nuovo Piccolo Teatro viene concepita nel 1981 sotto la guida dello stesso Giorgio Strehler, il progetto, commissionato a Marco Zanuso, vedrà la sua completa realizzazione solo nel 1998 dopo un iter progettuale e costruttivo al quanto problematico.

L'edificio realizzato vuole costituire un'unita' dialettica con il Teatro Studio (Fossati), posto proprio nelle vicinanze e collegato tramite un passaggio sotterraneo.

Il rivestimento scelto per i tamponamenti è il mattone a vista, elemento che cerca di dialogare con tutti i monumenti che articolano questa parte di città: il Castello Sforzesco e la Palazzina dell'Arte, sede della Triennale.

Il teatro studio Fossati

E' il luogo di sperimentazione del Piccolo Teatro di Milano. Un teatro indubbiamente originale sul piano architettonico, si sono ripresi infatti elementi di natura "popolare": accanto al mattone a vista sono stati ripresi, dalla tradizione popolare lombarda, i dettagli delle scale e dei parapetti delle case a "ballatoio" e le capriate in larici dalle cascine. Tutto l'uso di questo teatro è improntato ad una rilettura ironica del teatro dell'opera, con le scale che simmetricamente collegano i piani dei palchi, i quali sono però dei semplici ballatoi in ferro e le sedute sono dei semplici sgabelli.

1.9.3 AREA GARIBALDI

Il masterplan per l'area Garibaldi – da 50 anni considerata il tassello mancante del "Centro Direzionale" della città - è stato messo a punto da Cesar Pelli.
Concepito come quartiere interamente pedonale, il progetto nasce attorno ad un "podio", sottostante una piazza di 100 metri di diametro rialzata di sei metri rispetto al livello della strada.
Attorno al "Podio" sorgeranno 3 Torri direzionali di 30, 20 e 10 piani (firmate da Cesar Pelli), 3 edifici per eventi legati alla moda e design, nonché spazi dedicati alla moda, alla creatività, alla comunicazione e alla produzione.

Il progetto si inserisce nella maxitrasformazione promossa dal Gruppo Hines che nel maggio 2006, acquistando l'area delle Varesine, sanciva l'inizio di una progettazione unitaria destinata ad abbracciare aree per complessivi 360mila metri quadrati di superficie: "Il completamento del processo di acquisizione dell'area delle Varesine - dichiarava Manfredi Catella, Presidente e Amministratore Delegato della società di progetto Le Varesine S.r.l. e AD di Hines Italia - rappresenta un risultato importante per Milano. Abbiamo finalmente raggiunto la riunificazione delle Varesine con l'area Garibaldi Repubblica favorendo una progettazione unitaria che consentirà di realizzare un'opera di riqualificazione territoriale rilevante per la nostra Città e il nostro Paese".

1.9.4 AREA MACIACHINI

Maciachini Center sorge sull'area dismessa nel settore nord ovest di Milano, un tempo sede degli stabilimenti della Società farmaceutica Carlo Erba. Il progetto di riqualificazione si sviluppa su una superficie totale di circa 100.000 mq, destinata alla realizzazione di un centro polifunzionale con uffici, spazi commerciali e ricettivi, attività di ristorazione, un centro per le attività sportive e una ampia zona per attività culturali, come il Museo delle Marionette e Burattini e un teatro, progettati dall'architetto Italo Rota.

Questo teatro–museo potrà aprirsi completamente trasformando l'area in un grande anfiteatro all'aperto. L'abitabilità dello spazio urbano sarà conferita grazie alle zone a verde e piazze abbellite da fontane. É inoltre prevista la reazione di una pista ciclabile, non solo all'interno del centro, ma anche nelle strade perimetrali, per le quali è necessaria l'eliminazione delle vie ferrate. Il programma di sviluppo sarà totalmente completato per fasi. La prima fase, avviata dopo un' imponente opera di bonifica e completata nel 2006, è destinata ad uffici, nei quali trovano sede importanti multinazionali come Universal Studio, Montblanc e Sorin. Per la grande hall degli edifici l'artista Alberto De Braud ha realizzato una scultura di 17m di altezza che ne arricchisce la già elevata qualità architettonica del complesso. La seconda fase, completata nel giugno 2008, ospita la nuova sede del Gruppo Zurich in Italia. La fase tre si occuperà della realizzazione di edifici per il fitness e il tempo libero, mentre la fase quattro riguarderà un complesso per uffici.

1.9.5 AREA PORTELLO

Il Portello è un quartiere di Milano a nord-ovest rispetto al centro cittadino. Il primo stabilimento industriale è stato opera dell'azienda francese automobilistica Darracq, che nel 1906 decise di trasferire la sua filiale italiana da Napoli al capoluogo lombardo, scegliendo un vasto piazzale confinante con le aree che avevano ospitato nello stesso anno l'Esposizione Internazionale di Milano. La scelta strategica era dovuta al fatto che il Portello si trovava al centro di importanti vie di comunicazione verso il resto del nord Italia, verso la Svizzera e la Francia. Nel 1908 gli stabilimenti della casa automobilistica francese vennero acquistati da finanzieri lombardi che fondarono l'A.L.F.A., acronimo di Anonima Lombarda Fabbrica Automobili. Dopo aver attraversato il periodo dei due conflitti mondiali, l'azienda automobilistica lombarda conobbe un profondo cambiamento intorno al 1950 quando la produzione modificò il carattere artigianale che aveva mantenuto fino a quel momento divenendo un moderno stabilimento produttivo. Risale a questo periodo l'ampliamento degli stabilimenti con interventi importanti intorno agli anni '60.

In quel periodo, però, Milano stava cambiando e si stava sempre più espandendo verso zone agricole, così che la zona del Portello, dapprima periferica si trovò circondata da numerosi palazzi. Non avendo più possibilità di espansione l'Alfa Romeo decise di trasferirsi ad Arese, dismettendo ufficialmente gli stabilimenti del Portello nel 1986. A 11 anni dalla chiusura dell'Alfa Romeo, ovvero nel 1997, vengono costruiti dei padiglioni per ospitare la Fiera di Milano, che si è svolta in quest'area fino al 2005. In quell'anno infatti il fulcro della Fiera si trasferì nella zona di Rho–Pero. L'area del Portello è diventata da quel momento secondaria in ambito fieristico, fino a perdere completamente la sua vecchia e storica funzione nel 2008.

L'"Accordo di Programma Progetto Portello" ha avuto tra gli obiettivi principali la riqualificazione delle aree dismesse ex Alfa Romeo ed ex Lancia attraverso la creazione di un nuovo grande parco, aree e piazze attrezzate, servizi e nuovi insediamenti residenziali, commerciali e terziari al fine anche di ricostruire e riallacciare il tessuto compatto di origine ottocentesca della città interna alla circonvallazione con la città più recente della zona periferica del nord-ovest. All'interno dell'ampio ambito di trasformazione si ritaglia l'area della sede della Fondazione Don Gnocchi tra le vie Papa, Palazzolo e De Gasperi.

Il piano è suddiviso in tre grandi unità che realizzano un vasto insediamento integrato tra edilizia residenziale, in parte convenzionata, insediamenti commerciali e terziari nonché servizi pubblici. La residenza è localizzata lungo l'asse nord-ovest, verso la città storica e interpreta con il linguaggio architettonico contemporaneo il tema dell'isolato ottocentesco (residenze dell'arch. Cino Zucchi-Unità U2 e arch. Guido canali-Unità U3) . Ai due estremi si concentra il terziario-direzionale nella nuova Piazza Portello in fregio all'ingresso della Fiera- Portello(Unità U3 dell'arch. Gino Valle) e all'ingresso nord dalle autostrade il W. J. Center (Unità U1). Sul piazzale Accursio si concentra la fi quota di commerciale. Il verde pubblico, il grande Parco centrale ed il sistema delle piazze fino alla nuova Piazza Portello attraversano tutto il Piano e connettono tra loro le nuove funzioni insediate e la città esistente. L'area di intervento copre una superficie di ca. 385.000 mq e la slp insediata ammonta a ca. 152.000 mq, di cui il 50% destinato alle residenze, il restante al commercio (13%), terziario (32%), artigianato (3%) e funzioni pubbliche (2%). Sono inoltre previste urbanizzazioni primarie per circa 77.000 mq, una quota di parcheggi in superficie per circa 1.500 mq e un parcheggio interrato ad uso pubblico di circa 42.000 mq.

Il parco

Il parco, che si estende per ca. 60.000 mq., è disposto lungo viale Serra tra via Traiano e viale Scarampo e rappresenta l'area baricentrica dell'intero piano. Progetto coordinato tra l'architetto paesaggista Charles Jencks e lo Studio LAND di Milano, il parco accoglie tre grandi "sculture verdi" (una doppia S allungata e una grande spirale che sale verso il cielo) articolando la topografia del terreno in chiave scultorea. Si realizza così un importante e visibile Landmark - denominato dal suo progettista "Spiral of Times". Il parco sarà collegato alle aree del Portello Sud ed al QT8 attraverso due passerelle ciclopedonali su viale Serra e su viale De Gasperi, quest'ultima già realizzata. Il Parco accoglierà anche un asilo nido ed altre strutture.

fig. 1.44 - *Progetto per parco Portello*

Le residenze

Le residenze si concentrano in gran parte nei due ambiti delle unità U2 ed U3 verso viale Traiano a completamento del tessuto circostante con il quale, attraverso soluzioni architettoniche diverse, si sono armonizzate nelle altezze, nelle scelte tipologiche e nel rapporto tra edificato e spazi aperti. Unità U2- tra via Traiano e viale Serra, le residenze realizzate dall'architetto Cino Zucchi definiscono un isolato aperto su spazi ad uso

fig. 1.45 - *Residenze Portello*

Il fronte su viale Serra è stato invece risolto con edifici in linea. Al centro dell'intervento lungo via Traino è stato recuperato ad uso uffici il volume della ex mensa dell'Alfa Romeo di cui è stata conservata la facciata su via Traiano. Unità U3 - tra via Traiano e via Gattamelata è in fase di realizzazione il complesso di residenze di edilizia libera progettato dall'architetto Guido Canali : tre speciali torri composte da due lame affiancate sono allineate lungo via Gattamelata mentre corpi più bassi in linea definiscono gli altri tre lati dell'isolato chiudendosi a corte su un ampio spazio di uso pubblico.

Unità U1- completano l'unità U1 le torri residenziali di cui una di edilizia convenzionata.

Uffici per il Nuovo Portello

Il Nuovo Portello di Cino Zucchi trae la propria forza dalla particolare qualità urbana degli spazi che il suo autore è riuscito a ideare, grazie al ruolo centrale del compatto e scultoreo edificio, che fa da fulcro dell'intero complesso: la sede degli uffici IPER, sorta sul sedime della ex mensa dell'Alfa Romeo. Nell'ampio trapezio di terreni recuperati, Valle aveva tracciato una diagonale tra i due opposti quadranti: un'asse pedonale che avrebbe collegato la "porta" della Fiera di Mario Bellini con Viale Traiano e Piazzale Accursio raccordando, come virtuale spina dorsale, tutte le parti del nuovo sistema insediativo. Curiosamente questo tracciato "trapassava" in diagonale l'edificio della ex mensa dell'Alfa Romeo, unica costruzione degli anni trenta superstite del vecchio complesso industriale. Lavorando su questa idea originaria Cino Zucchi è intervenuto sull'impianto del quadrante nord-orientale tagliando sulla diagonale di Valle il volume rettangolare della ex mensa, ottenendo un parallelepipedo trapezoidale dalla forma spigolosa e incisiva. Un edificio quindi assai diverso dal preesistente, del quale è stata alfine conservata solo la facciata su Viale Traiano. La tipologia strutturale a grandi campate, che riprende la dimensione trasversale dell'edificio preesistente, è scavata ai due piani superiori da un cavedio vetrato che crea un patio-giardino interno sul quale affacciano i nuovi uffici.

fig. 1.46 - *Uffici per il nuovo Portello*

L'aspetto che maggiormente colpisce e rende l'edificio diverso dagli altri è l'essenzialità formale e la nettezza tagliente delle superfici delle tre nuove facciate (ma potremmo anche aggiungere il tetto inclinato come quarta facciata) che inglobano le aperture in un disegno complesso e dinamico, erede della lezione post bellica di alcuni grandi architetti milanesi: Ponti, Caccia Dominioni, Asnago e Vender. Si tratta di una differenziazione basata su un lessico costruttivo, fondato anch'esso sulla tradizione del razionalismo italiano, che stabilisce una separazione tra telaio strutturale a grandi campate – sulle tracce dell'edificio preesistente – e involucro murario. Il primo, operante come "impalcatura" nascosta e separata, si mostra solo negli spazi interni, mentre le facciate si comportano come "piani liberi" verticali in cui la scrittura delle aperture è dettata dalla necessità e dalla convenienza degli spazi interni.

La scelta della Pietra del Cardoso, un'arenaria grigio scura tendente al turchino solcata da tenui venature di tono più chiaro, si rivela decisiva per il carattere dell'edificio e si fonde in un monocromo con i serramenti, realizzati con imbotti in alluminio e vetro in parte retroverniciato in un tono blu-grigio. Il pattern del rivestimento, formato da corsi sottili e uniformi di lastre, conferisce al corpo dell'edificio una sostanza pietrosa compatta e stratificata che ne accentua il carattere monolitico, quasi di gigantesco e sfaccettato blocco lapideo.

World Join Center

Il World Join Center è una nuova location nel panorama milanese per accogliere Eventi e Congressi, collocato nell'area Portello; è il luogo di incontro e la business area di eccellenza all'ingresso di Milano Ovest. Un nuovo spazio per la città di grande pregio architettonico, dotato di ogni attrezzatura tecnologica e logistica all'avanguardia. Un'offerta completa per ogni tipo di esigenza: il WJC è infatti ideazione, organizzazione e realizzazione di eventi e congressi di diverse dimensioni, tipologie e caratteristiche. La struttura del WJC include due spazi per l'organizzazione di eventi e congressi.

fig. 1.47 - *World Join Centre*

WJC CONGRESS: una sala congressi con 206 posti a platea, attrezzata di tutte le più avanzate tecnologie, dotata di cabina regia e sale traduzioni, progettata per essere la location ideale di convegni aziendali, di enti e associazioni, attività congressuali di diversa tipologia (promozionale, scientifica, ecc), ma anche conferenze stampa, presentazione di nuovi prodotti, mostre, premiazioni e web conferences..

WJC SQUARE: la più grande piazza coperta della città con oltre 2000 mq di spazio attrezzato e modulabile, ideale per la promozione delle imprese milanesi e italiane attraverso: eventi, convention, sfilate di moda, mostre, lancio di nuovi brand, presentazione e esposizione di prodotti. Una location del tutto nuova per la città: composta da una struttura in travi di acciaio e zinco titanio e prevede diverse alternative logistiche, e allestimenti personalizzati.

1.9.6 AREE DENSAMENTE EDIFICATE: APPROCCIO CONTEMPORANEO

Milano oggi, con la sua frizzante intraprendenza rappresenta una frizzante realtà. Milano oggi, con la sua frizzante realtà progettuale, rappresenta il laboratorio sperimentale in cui hanno origine le ultime tendenze culturali, architettoniche, artistiche del territorio nazionale. Grazie alla sua intraprendenza e competitività, la città oggi costituisce un cantiere a cielo aperto, una realtà in cui coesistono importanti interventi di riqualifica del tessuto urbano accanto ad interventi di dimensioni assai più ridotte ma non per questo meno importanti ed interessanti. Sono proprio questi ultimi a rappresentare l'unica possibile realtà progettuale all'interno dell'altamente densificato tessuto urbano presente nel centro storico della città. Si tratta di interventi che pur occupando un limitato spazio all'interno del tessuto urbano (molti di essi sono piccoli progetti di riqualifica dell'esistente), rappresentano per i loro caratteri innovatori, dei preziosi esempi di architettura contemporanea. Come si potrà osservare negli esempi riportati qui di seguito, diversi sono i possibili approcci progettuali all'interno d'una dimensione urbana consolidata come quella del centro storico della città di Milano. Se infatti da un lato si inseriscono interventi dal carattere più o meno conservativo, attenti all' identità culturale del contesto storico ivi presente, dall'altro sempre più numerosi sono i progetti che con il loro particolare linguaggio architettonico si pongono in dialettico contrasto con la realtà locale.

fig. 1.48 - *Dante benini e Partners Architects, Breathe Building, Via Torino*

fig. 1.49 - *Dante Benini e partners Architects, Breathe Building, Via Torino*

Breath building - Dante Benini e Partners Architects - Via Torino

In Via Torino, uno dei principali assi su cui si è sviluppata la maglia radiale di Milano, all'angolo con Via Speronari è stato progettato e realizzato un intervento di riqualificazione e di adeguamento normativo di uno stabile che sorge tra numerosi edifici storici. Via Torino è una via che nasce da Piazza Duomo e crea una lunga prospettiva di edifici storici di notevole importanza che accompagnano lo sguardo nel cuore della città. Tra gli altri, questo è stato uno dei motivi principali, per i quali risultava difficile "dialogare" con l'esistente. Si è optato, quindi, per un intervento corposo, che modifica il Landmark di tutta la Via, e del quale ne diviene simbolo. Si è voluto creare una "pelle" sempre mutevole e dinamica, proprio come il capoluogo lombardo. La necessità, inoltre, di risolvere i problemi come l'inquinamento, la congestione e la cementificazione hanno ispirato i progettisti a creare una superficie esterna che ricordasse le foglie autunnali di un albero. Queste due idee principali hanno portato alla progettazione di una facciata naturale ed ecologica e ad una immagine vibrante e ricca di significato.

L'intervento, come detto, di forte impatto ha previsto la demolizione di tutto l'involucro, salvaguardando esclusivamente la struttura in cemento armato, riconsolidata ed adeguata alle nuove esigenze. La nuova facciata è stata realizzata con tecniche a secco, con l'utilizzo di carpenteria metallica, lastre in legno-cemento e con isolamento in lana minerale.

Il processo, cosi ingegnerizzato, ha permesso di contenere i tempi di lavorazione in una zona critica, in prossimità del Duomo di Milano. Tutti gli elementi della facciata sono stati trattati con un intonaco fotocatalitico, che trasforma gli agenti inquinanti in polvere permettendo alla facciata di rimanere pulita per un lasso di tempo maggiore rispetto a quelle classiche.

Innanzi alla prima pelle è stata posta una seconda facciata sempre in carpenteria metallica. Questa svolge una tripla funzione: filtro solare, collettore ottico e scambiatore termico. I pannelli in lamiera microforata svolgono il ruolo di filtro solare, attraverso un sistema elettronico che permette di posizionarli nella configurazione desiderata. Il ruolo di correttore ottico è svolto grazie alla microforatura: questa fa si che, a seconda della distanza dalla quale si osservano i pannelli, si abbia una diversa percezione di essi.

La seconda pelle in pannelli microforati, come detto, svolge un importante ruolo di scambiatore termico: in configurazione chiusa, durante il periodo estivo, i pannelli creano una lama d'aria ascensionale che incanala l'aria calda e viziata per espellerla, tramite dei grigliati metallici, in sommità; nel periodo invernale, la stessa configurazione, permette di incrementare l'inerzia termica dell'edificio.

La facciata risulta quindi una composizione ingegneristico–architettonica basata sui principi di basso impatto ambientale, smontabilità, riciclo e, naturalmente, di elevate prestazioni energetiche. Di grande importanza, a livello visivo, sono le istallazioni luminose che creano un "gioco" scenografico, soprattutto nelle ore notturne, quando l'edificio si impone in modo suggestivo nell'area.

D&G Headquarters - Studio Piuarch

Nel pieno centro di Milano, nasce la nuova sede del marchio D&G completata nel giugno 2006. Questo intervento, nato dalla fusione di due corpi fabbrica, si caratterizza per linearità nelle forme, giochi di luce e purezza architettonica. Uno degli elementi portanti del progetto è la sinergia tra classico e contemporaneo, rappresentati dalla palazzino del primo novecento e la nuova facciata vetrata, simbolo del nuovo intervento. Questa ampia vetrata, elemento cardine, corre senza interruzione lungo tre lati del complesso, garantendo un'illuminazione interna totale.

Il ritmo della facciata è scandito da lamelle frangisole verticali in vetro opalino, che contribuiscono, quando colpite dal sole, a conferire all'edificio un carattere di immaterialità. Queste lamelle non svolgono la sola funzione di frangisole, ma bensì quella di diffondere la luce all'interno in modo armonioso e divengono delle lanterne, nelle ore

notturne, quando riflettono la luce artificiale proveniente dall'interno.

L'intero complesso si articola su 7 piani complessivi, di cui 2 interrati. Caratteristico è il piano terra, caratterizzato da ciotoli bianchi e da aree verdi sinuose che si contrappongono alla linearità delle facciate. Altrettanto suggestivo è l'ultimo piano dove l'articolazione dei volumi permette l'affaccio del ristorante su una serie di terrazzi sottostanti. Nel complesso, la combinazione di materiali come la pietra bianca, ampie vetrate e lamiere d'acciaio regalano all'edificio, che si impone nell'area in maniera suggestiva ed elegante, una grande luminosità.

fig. 1.50 - *D&G Headquarter, +Arch*

La Serenissima - PARK Associati - Via Turati

Park Associati effettua un intervento di riqualificazione di un edificio progettato da Ermenegildo ed Eugenio Soncini intorno agli anni '60 per la società Campari. Il progetto è localizzato in Via Turati, in prossimità del centro cittadino. Nell'ambito della riqualificazione dell'edificio sono state previste altre due tipologie di intervento: l'adeguamento alla normativa energetica vigente ed il rifacimento del fronte strada. I punti cardine dell'intervento sono stati: il recupero di volumetrie al piano terreno, dato che l'originale generosità di spazi non utilizzati ne facevano un luogo di diseconomicità economica e funzionale, e la riqualificazione del sistema dei fronti, per aumentare le prestazioni di isolamento energetico ed acustico.

I volumi di spazio recuperati al livello 0 sono destinati ad attività commerciali, ma rimangono circondati da una parte organizzata "a verde", come permanenza dell'impostazione originaria.

Per tutta la facciata è stata scelta una trama che diviene elemento caratterizzante e simbolo riconoscitivo dell'edificio. Si è optato di non riproporre tale trama al livello terreno, per mantenere una maggiore permeabilità verso l'interno e per accentuare il rapporto tra esterno ed aree verdi localizzate dietro al fronte strada.

fig. 1.51 - *La Serenissima, Park Associati*

Office Building - Romolo Calabrese - Zona Tortona

L'intervento realizzato da Romolo Calabrese è di conservazione e riqualificazione di parte di uno stabile esistente, vicino alla stazione ferroviaria di Porta Genova. È importante sottolineare la localizzazione dell'edificio in una area che, in precendenza era prettamente industriale, ma che ora sta diventando maggiormente terziaria e residenziale. Tale progetto, pur essendo su di un edificio esistente è assimilabile, a livello visivo ad un intervento di nuova costruzione dato che la volumetria e la struttura originaria vengono totalmente modificate. Rispetto alla struttura iniziale, viene creato un corpo sporgente nel quale sono localizzati tutti tutti i servizi (scale, ascensori, bagni e tarrazzo). Tutto il resto dell'edificio esistente viene svuotato completamente al suo interno per creare ampi open-space. Le facciate presentano un gioco di pieni e vuoi, accentuato dall'utilizzo di un materiale monocolore.

Questa realizzazione esprime la volontà da parte del progettista di dare vita ad un nuovo edificio, con la possbilità che diventi punto di riferimento e fulcro dell'area in cui si inserisce.

fig. 1.52 - *Romolo Calabrese, Office Building*

Palazzo della Vetra - Goring e Straja Architects - Via della Chiusa

Il progetto realizzato da una equipe di architetti a cui fa capo G. Sicuro è un opera di riqualificazione e di recupero di un edificio per uffici. Trasparenza e luminosità, flessibilità degli spazi e degli impianti, qualità degli ambienti e dei materiali, sono stati gli elementi progettuali e costruttivi che hanno consentito di operare la trasformazione di Palazzo della Vetra, tradizionale edificio adibito ad uffici situato nel cuore di Milano.

La doppia parete in vetro strutturale e il frangi-sole in legno sono gli elementi che compongono il prospetto su Via della Chiusa. La facciata trasparente evidenzia il rapporto

fig. 1.53 - *Goring e Straja Architects, Palazzo della vetra*

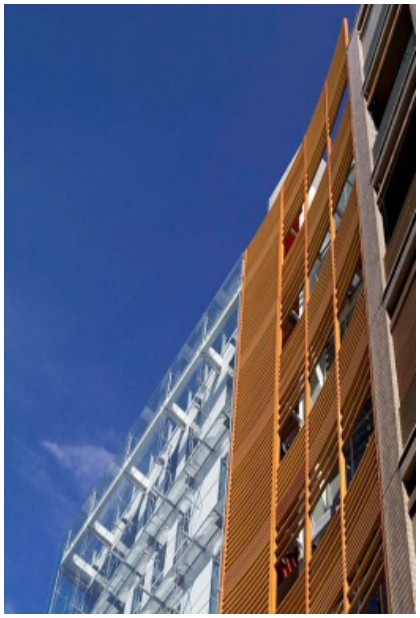


fig. 1.54 - *Goring e Straja Architects, Palazzo della vetra*

visivo interno-esterno accrescendo le caratteristiche di luminosità dei nuovi spazi di lavoro. All'interno un percorso sinuoso al piano rialzato attraversa gli spazi collegando visivamente i due giardini realizzati in corrispondenza delle due entrate al livello 0, in Via della Chiusa ed in Via del Crocifisso. La scelta di creare dei giardini in corrispondenza di entrambi gli ingressi ha permesso di riutilizzare, valorizzando, il piano interrato dell'edificio destinato precedentemente agli impianti.

In sommità l'edificio culmina con un grande elemento vetrato, correttamente schermato, che permette di accedere ad una ampia terrazza, rifinita a livello di pavimentazione con del legno, dalla quale si può godere della vista di Milano.

Residenze in via Lattuada - Cecchi e Lima Architetti Associati - Via Serviliano Lattuada

Un progetto di completamento della cortina edilizia, in un contesto urbano altamente edificato. L'intervento si pone, infatti, come ultimo episodio architettonico, a livello cronologico, di Via Lattuada. L'area di progetto si sviluppa lungo la direzione Nord-Est Sud-Ovest, lungo la suddetta via. Si nota la volontà, da parte dei progettisti, di relazionarsi al contesto esistente al livello inferiore: attraverso l'utilizzo di un rivestimento di colorazione grigia viene sottolineata l'altezza del primo livello degli edifici circostanti. Altro elemento caratteristico è l'attacco a terra dell'edificio: attraverso un sistema di lamelle metalliche si può osservare l'interno e ciò garantisce un rapporto con l'esterno, ed una integrazione con esso.

Partendo da questi presupposti, l'edificio si pone come edificio simbolo dell'area, senza "soffocare" le preesistenze storiche circostanti.

Terrazza Marinai - Studio Mzj

L'operazione di bonifica da amianto e di rifacimento di una copertura nel centro storico di Milano, in prossimità del Duomo e della Torre Velasca, è stata colta come occasione per dotare il condominio di una nuova terrazza ad uso comune. Tale terrazza, organizzata in parte a verde, diviene un luogo dove godere di una vista inedita del capoluogo lombardo. I materiali maggiormente utilizzati sono il cotto, economico ed ecocompatibile, ed il ferro, lavorato artigianalmente per comporre ringhiere e balaustre, che vanno a sostituire il cemento componendo una sorta di terrazza "romana" nel cuore di Milano. Si può accedere a questa area tramite una scala, che permette di raggiungere questa terrazza, possibile luogo di ritrovo, festa ed intimità. In futuro verranno istallati pannelli fotovoltaici, in modo tale che questa diventi, oltre che area di svago e relax anche "fonte di energia" per il condominio sottostante.

HOUSING A MILANO

dal 1800 ad oggi

capitolo 02

fig. 2.55 - *Casa in via Dante 16*

2.1 LA CASA DA PIGIONE OTTOCENTESCA

Nonostante nella prima metà dell'Ottocento Milano sia ancora Ducato austriaco, lo scenario architettonico comincia ad arricchirsi di interventi che non sono più manifestazione del regime e della nobiltà, ma manifestazione dell'imprenditoria borghese. Questo carattere, che si accentua ancora di più dal momento in cui la città diventa Municipio, trova la sua più completa espressione nella casa da pigione borghese.

La casa da pigione borghese ottocentesca è tipicamente suddivisa in tre fasce: un basamento, un primo piano detto "nobile" e 3 o 4 piani superiori. Il basamento è più alto degli altri livelli, poiché comprende anche un mezzanino, ed è solitamente trattato a bugnato. Qui trovano posto botteghe e negozi, oltre all'androne d'ingresso.

La gerarchia dei successivi piani segue una logica di accessibilità secondo la quale (non essendo ancora comparso l'ascensore) il primo piano è il più comodamente raggiungibile e per questo destinato ad un ceto medio-alto, mentre i livelli superiori sono destinati a classi sociali via via più povere.

Il piano nobile si caratterizza per una maggiore ampiezza dei locali e la disposizione di balconate sull'affaccio esterno, caratteri che si perdono ai livelli superiori, suddivisi in unità abitative molto più contenute e date in affitto a classi operaie.

Questa gerarchia trova una coerente manifestazione nella facciata esterna, dove la decorazione e l'architettura diventano sempre più semplificate salendo verso l'alto; in questo modo, ad esempio, si tende ad associare la balconata ad un'idea di ricchezza, mentre gli abbaini ad un'idea di povertà, la quale si fonda sul fatto che le soffitte sono, tra tutti i livelli, il piano più economico in assoluto.

Questa formale scansione della facciata, come si leggerà più avanti, genera non pochi problemi quando, già negli ultimi anni dell'Ottocento, i palazzi non saranno più abitati da ceti diversificati, ma destinati a classi omogenee per tutti i livelli dell'abitazione.

La residenza, poi, può assumere distribuzioni in pianta differenti, ma presenta sempre una o più corti. Gli affacci interni delle corti sono concepiti con la stessa dignità di quelli rivolti verso l'esterno e quindi come dei veri e propri prospetti, diversamente da come accadrà nel secolo successivo.

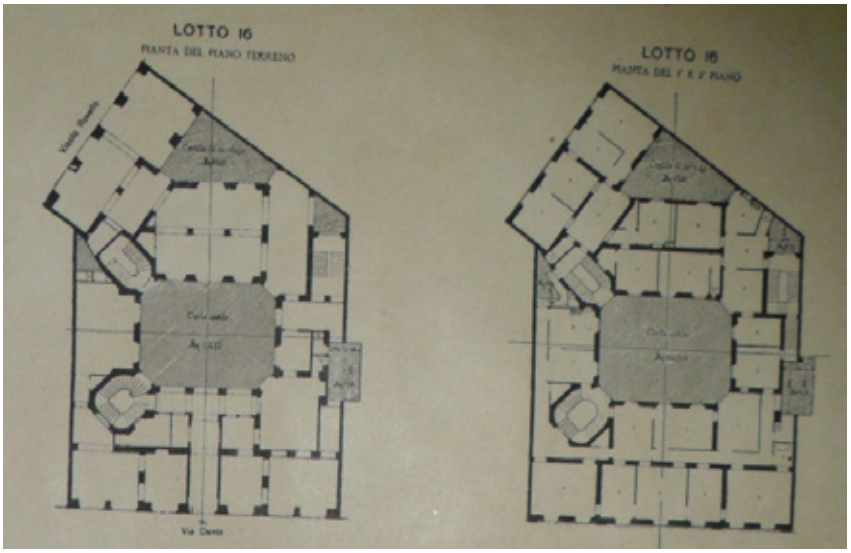


fig. 2.56 - *Esempio di impianto planimetrico al piano terra*

Se assumiamo ora una visione a scala di quartiere, si noterà che nell'Ottocento si prosegue la tendenza dei secoli precedenti a far coincidere la configurazione planimetrica del fabbricato con la forma del lotto su cui si estende. Inoltre, una gerarchia ulteriore rispetto a quella vista precedentemente sorge tra i lotti (e quindi tra i fabbricati) a seconda della loro posizione all'interno dell'isolato: il valore economico è massimo per quelle aree

che si collocano al confine con le arterie principali e via via diventa inferiore sulle strade secondarie, fino a raggiungere un livello minimo nella aree interne dell'isolato, destinate di conseguenza alla realizzazione di capannoni.

Durante il corso del secolo i piani urbanistici incentivano l'edificazione di interi quartieri a destinazione residenziale (si veda il caso della Via Dante, 1889), promuovendo interventi che la critica ha spesso giudicato, con atteggiamento forse troppo severo, speculativi.

Gli interventi su queste aree erano a tutti gli effetti delle operazione di carattere economico, svolte con l'intento di ricavarne un ritorno in termini monetari tramite gli affitti.

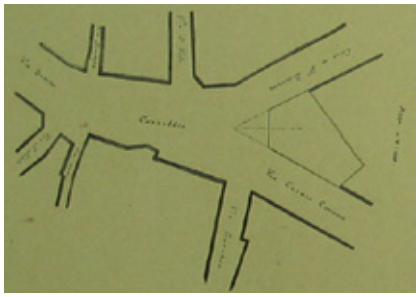


fig. 2.57 - *Confronto tra forma del lotto ...*

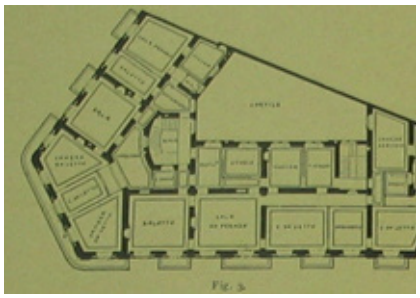


fig. 2.58 - *... e forma dell'edificio*

2.2 L'HOUSING AGLI INIZI DEL XX SECOLO

Già a partire dal periodo immediatamente successivo all'unità d'Italia, Milano assiste ad un vertiginoso sviluppo industriale seguito da una altrettanto importante crescita demografica. Nonostante l'attività edilizia sia molto intensa, la domanda di abitazioni a basso costo rimane ampiamente disattesa. Le condizioni abitative rimangono pessime e nelle zone più povere della città si registra un indice di affollamento fino a 3 persone per locale. E' proprio in questo contesto sociale che si cominciano a realizzare le prime opere di edilizia popolare: ghetti operai localizzati nelle zone più periferiche della città (Bovisa, Bicocca, Rogoredo, etc.).

Ciò nonostante ancora nel 1901 larghe fasce della popolazione più povera occupavano ancora il centro storico tanto che il 42% della popolazione operaia risiedeva ancora entro le mura spagnole. E' tuttavia da osservare come proprio a partire dallo stesso anno si osservi per la prima volta una diminuzione della popolazione all'interno del centro storico, in coincidenza con i primi interventi di conversione delle attività industriali in funzioni di carattere terziario.

Per far fronte alla drammatica situazione sociale che ormai da decenni martoriava le classi più povere della popolazione milanese, la giunta comunale socialista, decise di intervenire realizzando tra il 1905-1909 ben quattro quartieri residenziali di iniziativa pubblica: i quartieri Mac Mahon, Spaventa, Ripamonti, Tibaldi. Si tratta dei primi interventi di iniziativa pubblica realizzati nel comune di Milano. Fino a questi anni infatti, la risposta al fabbisogno abitativo a basso costo era demandata alla speculazione edilizia dei privati che avendo come unico interesse quello di trarre il maggior profitto dai propri investimenti, realizzavano interventi ad altissima densità abitativa, localizzati per lo più nei pressi del centro cittadino (ossia laddove maggiore era la richiesta di abitazioni). Non si trattava di interventi per case d'affitto, ma piuttosto progetti che riproponevano la tipologia della casa da pigione ottocentesca, in cui tuttavia nel tempo si era andata accentuando la tendenza ad aumentare via via sempre più la densità abitativa degli alloggi, specialmente quelli agli ultimi piani. E' proprio in risposta a questo tipo di interventi edilizi che si inserisce il progetto per il quartiere Mac Mahon, un esempio di edilizia popolare di grande sensibilità e attenzione verso la qualità della vita. Si tratta tuttavia di uno dei pochi esempi isolati di edilizia a basso costo ad alta qualità abitativa fino a quel momento realizzati. Il modello comunemente diffuso di alloggio popolare consisteva infatti in edifici a corte chiusa inseriti all'interno di isolati a blocco chiuso, a ballatoi sovrapposti (come da tradizione edilizia locale), per una altezza media di quattro piani fuori terra. Il ballatoio in particolare, sostituendosi ai corridoi interni, costituiva uno strumento essenziale di controllo degli abitanti, nonché uno spazio ricreativo e di incontro. Gli alloggi, composti da 2/3 locali privi di servizi igienici privati (frequente era la presenza di finestre di latrina disposte in affaccio lungo le strade esterne), possedevano superfici assai ridotte. Per questa ragione spesso erano previsti spazi a funzione incerta di superficie mediamente pari a 20 mq, che all'occorrenza si trasformavano in cucina, camera da letto, etc.

fig. 2.59 - *Edifici d'abitazione: via Dante 14*

fig. 2.60 - *Edifici d'abitazione: via Dante 15*

fig. 2.61 - *Edifici d'abitazione: via S. Vincenzo 14-16*

2.3 L'ESPERIENZA RESIDENZIALE A CAVALLO DELLE DUE GUERRE

L'intervallo temporale compreso tra le due guerre rappresenta uno dei momenti più importanti per lo sviluppo edilizio della città. Esso difatti non solo coincide con l'importante opera di ricostruzione della Milano post-bellica, ma si identifica anche con quel nuovo processo edilizio volto a ridefinire la nuova tipologia di "casa milanese": un'unità abitativa di tipo intensivo (è in questo periodo che nasce il "sistema condominio"), diffusa uniformemente su tutto il territorio, i cui unici elementi caratterizzanti i diversi livelli sociali sono rappresentati dalla qualità delle finiture interne, dalla posizione all'interno dell'isolato, dalla superficie dell'alloggio.

In questo nuovo panorama urbano, Milano rappresenta la città del ceto borghese medio-alto. Le fasce operaie infatti, a causa dei proibitivi prezzi d'affitto raggiunti in prossimità del centro storico della città, già da tempo avevano cominciato un graduale esodo verso le zone più periferiche, relegati all'interno di appositi quartieri-ghetto. L'aggressività della speculazione edilizia della classe imprenditrice locale tuttavia, aveva condotto la città ad un tale livello di sviluppo edilizio, che le aree urbane, un tempo decisamente lontane dal centro urbano (e per questo popolate dalla classe operaia meno abbiente), cominciano ora a vedere un progressivo inurbamento. La logica della speculazione edilizia residenziale infatti, intendendo il suolo urbano come un tutto equivalente e omogeneo, aveva privilegiato nel suo sviluppo quelle aree che già presentavano importanti opere di urbanizzazione primaria.

E' all'interno di questa logica costruttiva che si inseriscono ulteriori considerazioni di carattere speculativo che comportano importanti scelte di carattere compositivo sia all'interno della tipologia edilizia residenziale, sia a livello di quartiere. Come già accennato, l'occupazione del suolo ereditata dall'ottocento, è strettamente connessa al valore economico dello stesso in relazione alla sua posizione all'interno dell'isolato. Si osserva pertanto che il valore delle unità abitative raggiunge il suo picco in corrispondenza delle posizioni d'angolo, in affaccio sulle arterie stradali principali, e via via scende lungo le strade secondarie (specie se posizionate al centro dell'isolato).

Per ridurre quindi le aree più interne degli isolati e massimizzare così i profitti, si sono andati diffondendo modelli di isolati di forma stretta ed allungata, sul cui lato corto non si allineano più di due lotti, e dove le due costruzioni affaccianti lungo i due opposti lati lunghi dell'isolato, sono del tipo a blocco chiuso, confinanti attraverso anguste corti interne.

L'ottimizzazione degli investimenti in campo edilizio però, rappresenta un fenomeno ben più ampio e si esprime attraverso diversi caratteri progettuali. Se da un alto abbiamo quindi osservato un processo di trasformazione della forma dell' "isolato tipo", dall'altro, di non secondaria importanza, si registra un processo di standardizzazione degli alloggi secondo la logica del "sistema condominio", espressione della nuova "casa milanese".

L' ampia presenza sul territorio urbano di una unica classe sociale (la classe borghese), e le considerazioni economiche sul valore del suolo, portano infatti gli imprenditori edili a prediligere sempre più la tipologia edilizia a casa a più piani e con più nuclei famigliari distinti: il cosiddetto condominio. Con questa nuova tipologia edilizia, si sancisce la scomparsa della differenziazione tipologica dell'edificio in classi sociali (caratteristica essenziale della casa da pigione ottocentesca); nasce il "piano tipo". Tale trasformazione è stata resa possibile in gran parte grazie anche all'invenzione dell'ascensore, un elemento tecnologico che permette di garantire la stessa facilità d'accesso agli alloggi degli ultimi piani così come a quelli più vicini al livello zero.

In realtà però, diversi sono gli elementi che distinguono il condominio dalla vecchia casa da pigione. Tra di essi si ricorda la sostituzione delle vecchie corti interne con stretti cavedi, pensati unicamente al fine di garantire un affaccio esterno agli spazi di servizio (scale, servizi igienici,...). Si tratta di spazi così angusti da perdere qualsiasi pretesa

architettonica e divenire essi stessi spazi tecnici di supporto alle funzioni già presenti nell'organismo edilizio. Anche l'ultimo piano è investito da un nuovo senso dell'abitare. Se infatti fino agli ultimi decenni del XIX secolo gli ultimi piani erano destinati ad ospitare le fasce di popolazione meno abbienti, con la diffusione dell'ascensore e della tecnologia del tetto-giardino, gli ultimi piani (ormai comodamente raggiungibili), divengono spesso delle magnifiche terrazze verdi da cui godere della vista sulla città. Grazie infatti ad una particolare norma del regolamento edilizio, era previsto un arretramento dal filo esterno dell'edificio di 3 m nel caso in cui venisse superata l'altezza massima di edificabilità. Questo ha dato origine alla diffusissima pratica di realizzare delle vere e proprie ville sul tetto della città. Con l'avanzare degli anni trenta, la tipologia edilizia del condominio si consolida e porta ben presto alla definizione e diffusione della cosiddetta "casa alta". Quest'ultima consiste in un condominio di altezza media compresa tra i 6 e gli 8 piani (a seconda della larghezza dell'edificio), disposta lungo il ciglio stradale, a formare con gli edifici adiacenti una compatta cortina edilizia impenetrabile. Inizialmente questa architettura urbana era il frutto dell'accostamento di più organismi edilizi indipendenti che con la loro varietà compositiva spesso definivano spazi dal dubbio gusto estetico. Presto però, sull'onda della grande speculazione edilizia in atto, nacquero i primi progetti di palazzi-quartiere: complessi edilizi di ampiezza tale da occupare ampie porzioni di interi quartieri. Questa tipologia di interventi, comporta la formazione di cortine edilizie assai più omogenee rispetto alle prime, rientrando difatti all'interno di un comune progetto edilizio.

Le case alte però si caratterizzano anche per altri numerosi aspetti. Sebbene non sia possibile definire un preciso linguaggio stilistico o parlare di tipologie edilizie in base ai lotti su cui insistono, è però possibile individuare degli elementi e degli schemi volumetrico-distributivi ricorrenti che, con la loro costante ripetizione, determinano di fatto una nuova tipologia edilizia.

Nella fattispecie, la distribuzione agli appartamenti avviene sempre mediante il blocco scala, attraverso lo spazio distributivo del pianerottolo, su cui generalmente trovano affaccio un numero di alloggi compreso tra i 2 e i 5 (nel raro caso di case semi-popolari). Questo schema distributivo ricorrente, si trova inserito all'interno di una più ampia composizione volumetrica che, con la sua variazione, offre una ampia scelta abitativa oltre che proporre delle innovative tipologie edilizie non sempre in armonia con il consolidato contesto urbano.

Tra le diverse composizioni volumetriche si ricordano in particolare:

- La casa d'angolo: tipologia edilizia di diretta derivazione ottocentesca, possiede due o più affacci diretti sulle arterie stradali.
- La casa con cortina stradale continua: si tratta di uno degli schemi edilizi residenziali maggiormente utilizzati in questi anni. E' rappresentata da un condominio che, a causa della scarsa profondità dell'isolato su cui insiste, si compone di un unico volume in affaccio diretto sul ciglio stradale.
- La casa a "U": rappresenta una delle tipologie edilizie maggiormente diffuse nel XIX secolo. Essa è composta da un volume parallelo al bordo strada e da due volumi perpendicolari che si estendono verso l'interno del lotto a partire dalle due estremità del primo volume, creando una corte interna.
- La casa a "L": simile alla casa a "U" ma priva di una delle due ali che penetrano all'interno dell'isolato.
- La casa arretrata: questa tipologia edilizia presenta un fronte arretrato rispetto al filo stradale, così da creare nella zona antistante uno slargo spesso arricchito da giardino. Questa soluzione architettonica trae la sua origine da raffinate considerazioni economiche. Arretrando il limite di edificazione infatti, in base a quanto stabilito nel regolamento edilizio, si possono raggiungere altezze maggiori e aumentare così la volumetria commercializzabile. Questa tipologia presenta però dei limiti. Questa scelta progettuale deve infatti essere riproposta lungo tutta la lunghezza del fronte stradale dell'isolato in cui l'intervento viene realizzato.
- A causa delle prevedibili difficoltà nel riuscire a rispettare tale vincolo, spesso i

progettisti fanno ricorso a diversi stratagemmi. Tra di essi il più comune prevede la realizzazione di un edificio con fronte arretrato cui vengono aggiunte due testate laterali a parziale chiusura dello slargo antistante. Questo escamotage compositivo permette infatti di leggere il volume edilizio come se fosse effettivamente allineato col filo stradale.

- La casa-torre: questa tipologia residenziale rappresenta l' "abitazione tipo" della classe borghese milanese più ricca, costantemente alla ricerca di quanto di più moderno e "alla moda" fosse presente sul mercato.

Nel corso degli anni '30, in seguito al fenomeno della speculazione edilizia ed alla crescente densificazione del suolo urbano, accanto a questi modelli residenziali sono andati diffondendosi tipologie edilizie difficilmente riconducibili ad un preciso concept volumetrico-stilistico. Si tratta di complessi residenziali, frutto di una disordinata composizione di volumi, a costituire uno schema planimetrico complesso, la cui origine è da rintracciarsi unicamente all'interno del raggiungimento della massima edificabilità.

L'ampia diffusione dei modelli residenziali visti, non ha impedito la realizzazione, seppur limitata, di altre forme architettoniche. Ne sono un esempio le cosiddette "case basse": edifici a 2-3 piani isolati all'interno del lotto su cui insistono. A causa dell'ampiezza del lotto all'interno del quale vengono realizzate, queste trovano diffusione prevalentemente nelle zone urbane più periferiche.

Alla categoria residenziale di casa bassa troviamo:

La villa unifamiliare: unità abitativa a 2-3 piani, dotata di giardino, in continuità con la tradizione architettonica ottocentesca del villino borghese di delizia.

- La casa a schiera: case unifamiliari, accostate, a schiera, generalmente occupate dal ceto operaio e dalla piccola borghesia. Ogni unità abitativa si compone di 2 piani fuori terra più piano cantinato ed è provvista di giardino privato.
- La casa civile a due/tre piani: rappresenta un mix compositivo tra la villa unifamiliare (da cui trae la forma architettonica) e la palazzina plurifamiliare (da cui trae il distributivo interno e la tipologia di appartamenti).

A questi interventi di dimensioni relativamente ridotte, è infine da aggiungere un'ultima tipologia che pur rivestendo un ruolo marginale nel contesto architettonico milanese, rappresenta pur sempre un ulteriore approccio al tema residenziale. Nella fattispecie, si tratta della palazzina plurifamiliare isolata, una tipologia edilizia simile ai condomini ma dislocata all'interno di un lotto come una entità isolata e separata dal contesto edilizio circostante. Questa soluzione architettonica trova maggior sviluppo soprattutto nella zona residenziale di San Siro e nell'area della attuale fiera Milano city.

Di non secondaria importanza sono poi gli interventi residenziali di iniziativa pubblica realizzati durante il primo dopo guerra. Dopo la prima guerra mondiale infatti, le difficili condizioni economiche del paese, la recessione del settore edile e l'incremento della popolazione causato sia dal ritorno dei reduci che dalla nuova ondata di immigrazione, determinano un aggravarsi delle condizioni residenziali delle fasce più povere della popolazione facendo aumentare ancor più l'indice di sovraffollamento degli alloggi.

Proprio per far fronte a questa difficile situazione, la giunta comunale decide di realizzare una serie di interventi residenziali a basso costo. Dopo aver vagliato diverse tipologie edilizie e masterplan, si è optato per la realizzazione di villaggi-giardino composti da case unifamiliari o bifamiliari, ad un solo piano, realizzate utilizzando la tecnologia semplice e veloce del cemento armato e dei blocchi in laterizio. I villaggi trovano posto nelle aree più periferiche della città e purtroppo dimostrano una scarsa attenzione verso la dimensione urbanistica disponendosi passivamente lungo il filo stradale riducendo in tal modo la dimensione dei giardini a orti disposti in serie privi di alcuna pretesa architettonica. Questa tipologia residenziale ad iniziativa pubblica rappresenta tuttavia un caso isolato non avendo da un lato raggiunto quegli obiettivi qualitativi sperati ed essendo dall'altro lato costato molto per un intervento di iniziativa pubblica.

Con l'ascesa della giunta comunale fascista, gli interventi popolari subirono una grave flessione a favore invece di un risanamento dei conti comunali. La giunta si limita

a indirizzare la produzione edilizia verso la realizzazione di interventi di standard medio ("quartieri riscatto") rivolti principalmente al ceto medio. Durante il periodo fascista infatti, furono solamente tre gli interventi di edilizia ultrapopolare, realizzati unicamente allo scopo di ospitare la numerosa popolazione sfrattata dagli alloggi popolari in corso di demolizione all'interno del centro storico.

Per quanto concerne i quartieri a riscatto, questi trovano collocazione principalmente in aree semicentrali, dotate di una buona rete di collegamenti ai principali servizi pubblici. Essi si compongono essenzialmente di organismi edilizi a corte chiusa o aperta su un lato, alternati a spazi verdi che da un lato separano formalmente i volumi edilizi ma che a scala urbana hanno funzione unificatrice. Trattandosi di interventi rivolti principalmente alla fascia piccolo-borghese, spesso questo tipo di interventi possiedono un stile architettonico molto simile al linguaggio formale dei palazzi nobiliari (basamento in bugnato con ampio portale di ingresso; lesene a scandire il ritmo di facciata nei piani superiori). Oltre alla esplicita volontà di mimesi con i modelli dell'edilizia alto-borghese, un' altra caratteristica essenziale è rappresentata dalla volontà categorica di eliminare le uniformità nei prospetti al fine di evitare l'effetto "casermone" simbolo di unità di classe e quindi di scarsa ricchezza. Per ottenere questa varietà stilistica si ricorre all'uso di decorazioni, logge, bow windows, ecc. .Per quanto riguarda invece gli interventi di edilizia ultrapopolare, questi si localizzano essenzialmente nella zona sud della città, in località tradizionalmente agricole e quindi lontane dalla dimensione urbana della città. Si tratta di edifici a ballatoio, disposti attorno a strette corti, composte da alloggi spesso composti da un solo locale di dimensioni ridotte. La logica funzionalista con cui tali interventi vengono realizzati non trova espressione solo nell'estrema limitatezza delle superfici degli alloggi, ma investe anche il linguaggio stilistico delle facciate esterne che difatti appaiono del tutto spoglie.

Questo però è anche il periodo del dibattito sulla casa intrapreso dalle importanti personalità che hanno determinato la storia del movimento moderno italiano. Si tratta di una concezione di casa diversa da autore a autore, e del tutto diversa dalla realtà residenziale diffusa sul territorio milanese. Per questa ragione si rimanda al capitolo strettamente riferito al periodo moderno italiano.

2.4 IL SECONDO DOPO GUERRA

In seguito alle profonde ferite inferte dalla Grande Guerra, nell'arco temporale immediatamente successivo al periodo post-bellico, si evidenzia la urgente necessità di restituire alla cittadinanza appropriati spazi residenziali in cui poter affrontare soprattutto le difficoltà legate al risollevamento morale di una società reduce dalle violenze della guerra.

In questo duro panorama si inserisce il progetto di ricostruzione della città di Milano. I principi che hanno guidato la ricostruzione sono essenzialmente la rapidità e l'economicità. A tal scopo i progettisti hanno indirizzato le proprie scelte progettuali verso tecnologie costruttive prefabbricate che richiedono l'utilizzo di poca manodopera specializzata, minimi costi di impianto, produzione flessibile, limitati tempi di posa. Inizialmente al fine di ottimizzare al massimo i tempi di posa, i progetti prevedevano l'uso di pochi elementi prefabbricati di grosse dimensioni, ma le difficoltà di trasporto e di reperimento di adeguati mezzi di cantiere fecero presto preferire l'utilizzo di un tipo di prefabbricazione più piccolo e leggero. Ha così inizio un periodo di sperimentazione e di produzione di elementi seriali normalizzati, nonché l'uso di casseforme riutilizzabili.

Accanto alla pragmaticità delle scelte tecnologiche adottate, già a partire dai primi interventi di ricostruzione, si accende il dibattito sull'importanza dell' espressione dell' identità sociale delle differenti fasce di popolazione attraverso l'esaltazione della varietà

morfologica degli edifici. Ci si chiede in sostanza, se sia bene esprimere, attraverso l'uso di un variegato linguaggio architettonico, la diversa estrazione sociale degli abitanti che occupano gli stessi edifici. La risposta fu che, anche in seguito alla sfrenata speculazione edilizia che ebbe inizio a guerra conclusa, all'idea di quartiere come di uno spazio per la collettività si stava sostituendo un'idea di spazio composto da più unità abitative individuali, idealmente indipendenti, accumunate unicamente da una formale vicinanza spaziale all'interno dello stesso contesto urbano.In questo nuovo panorama sociale, ampio spazio trovano i progetti di edilizia residenziale popolare che, in un primo momento vive un grave ritardo nella pianificazione degli obiettivi dell'edilizia sovvenzionata (lasciando così ampio spazio ad interventi di edilizia privata), e, successivamente, subisce gli effetti d'un regolamento edilizio che, per rigidità e schematicità, nega agli enti la possibilità di divenire strumento di riqualificazione della dimensione casa.

A causa da un lato della sua rigidità progettuale-compositiva a livello architettonico, dall'altro della sua genericità a livello urbano, il regolamento edilizio lascia spazio alla realizzazione di interventi residenziali realizzati il più delle volte in funzione delle disponibilità di fondi e di terreni piuttosto che dell'offerta di un ambiente urbano di qualità. E' in questo contesto culturale che tuttavia si inserisce il progetto QT8, un progetto di quartiere ideale autonomo rispetto alla città ma non isolato dalla stessa; un quartiere capace di valorizzare la relazione umana attraverso l'uso di un organismo edilizio composto da case alte e basse di diverse tipologie, articolate lungo una spina verde centrale lungo la quale si distribuiscono i diversi servizi al cittadino. Questa tipologia di intervento vuole porsi come valida alternativa al tradizionale quartiere monocentrico articolato attorno ad un anonimo centro di servizi.

Purtroppo il QT8 non riuscirà a divenire manifesto di un nuovo approccio alla progettazione, ma al contrario negli anni a seguire si osserverà in campo residenziale, una costante tendenza alla massimizzazione del profitto ed a una totale noncuranza verso la qualità dell'abitare.

2.5 DAL BOOM ECONOMICO AD OGGI

Con la conclusione del secondo conflitto mondiale i nuovi interventi edilizi (in mano principalmente ai privati), avevano condotto la città di Milano verso una condizione di totale caos compositivo con gravi ripercussioni sulla qualità edilizia. Per cercare di arginare gli effetti di una così disastrosa assenza da parte degli organi comunali, i criteri di revisione del 1958 relativi alla zona centrale della città, hanno aperto la strada ad un nuovo tipo di interventi da realizzarsi sugli edifici del centro storico. Tali criteri imponevano importanti vincoli relativi all'allineamento dei fronti stradali e delle altezze degli edifici, alla conservazione delle facciate permettendo al contempo di variare la destinazione d'uso dell'edificio e, implicitamente, di disaccoppiare il ruolo scenografico della facciata dalla tipologia di edificio.

Quest'ultimo vincolo in particolare, rappresenta una delle più importanti linee guida relative agli interventi di ricostruzione e restauro condotti sugli edifici del centro storico. Accanto alla conservazione dei prospetti di facciata (la cui conservazione dava modo di realizzare un volume edificato pari anche cinque volte la cubatura che altrimenti sarebbe stato lecito realizzare nel caso di ricostruzione ex novo dell'edificio), si individua anche un'altra immagine ricorrente, ovvero quella dei sopralzi, interventi di incremento del volume edilizio spesso caratterizzati per la forte identità stilistica in netta contrapposizione con la poetica dell'edificio su cui si appoggiano.

Per quanto concerne invece gli interventi residenziali realizzati nelle aree più periferiche, in questi anni e specie durante gli anni '70, si assiste ad un rovinoso decorso durante il quale la cultura architettonica perde completamente la propria identità sociale (sono

questi gli anni dei moti del '68), fino a giungere negli anni '80 quando il tema dell'abitare, in uscita da un periodo di grave smarrimento, risulta essenzialmente cristallizzato.Oggi, a differenza di quanto registrato in passato, si può dire che la tipologia edilizia residenziale non si caratterizzi tanto per l'uso di un particolare linguaggio architettonico o per l'utilizzo di schemi distributivi particolarmente differenti da quanto realizzato durante i primi decenni del XX secolo, ma piuttosto si distingua per una nuova concezione dello spazio abitato quasi più ascrivibile all'ambito del disegno d'interni che non della costruzione.

2.6 EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA DELL'ABITAZIONE

Riportiamo di seguito il contenuto de "La casa e la città" (vedi bibliografia) in cui è pubblicata un'analisi, riferita alla città di Milano, sulla disgregazione dei caratteri tipici della città ottocentesca nel corso del tempo.

L'analisi è stata svolta attraverso lo studio della tipologia edilizia dall'Ottocento all'epoca contemporanea (N.B. il testo è stato editato nei primi anni '90) e presentata ai lettori con l'ausilio di alcune tavole illustrative che riproporremo qui sotto.

2.6.1 EDIFICIO E FORMA DEL LOTTO

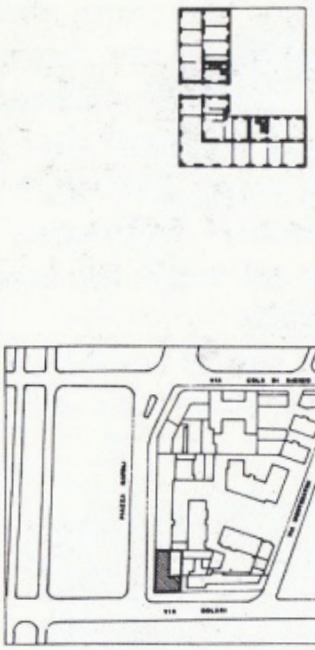
Il primo tema affrontato riguarda il rapporto tra l'edificio e il lotto su cui si estende. Come già illustrato precedentemente, fino all'Ottocento la tendenza è quella di far coincidere l'estensione dell'edificio a quella del suo lotto. Questo concetto verrà abbandonato nel corso del tempo."La prima striscia orizzontale mostra tre casi ricorrenti che possono essere ricondotti alla tradizione della costruzione della città ottocentesca: la casa d'angolo, la casa a corte e la casa a blocco disposta lungo la cortina edilizia dell'isolato. La seconda striscia mostra esempi nei quali permane un rapporto evidente tra forma del lotto ed edificio, ma attuato in modi che si differenziano da quelli propri della costruzione della città compatta Milano: [...].

La terza casella mostra poi un esempio di edificio a blocco del tutto simile a quello riportato nella terza casella della seconda striscia, ma disposto in modo inconsueto, perpendicolare all'affaccio su strada.. La terza striscia mostra esempi in cui la forma del lotto costituisce, per l'edificio, il semplice contorno dell'area edificabile, annullando quasi del tutto il rapporto forma del lotto ed edificio: [...]."

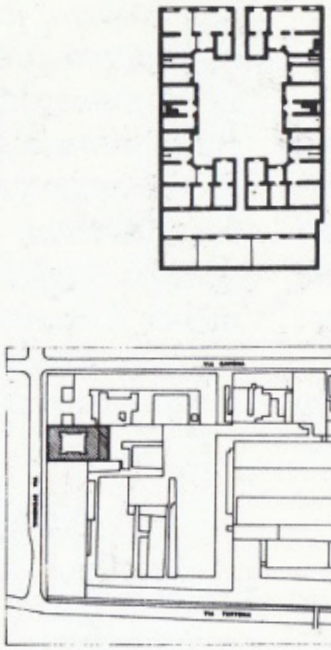
2.6.2 IL PIANO TERRA

In questo caso viene analizzato il basamento. Lo scopo è più che altro mettere in luce come certi atteggiamenti nella definizione dei caratteri del piano terreno siano costanti nelle diverse epoche. Si precisa che nella tavola viene fatta corrispondere ad ogni colonna una fase diversa, mentre le tipologie sono disposte in riga.

"La prima striscia orizzontale [...]mostra la rilevanza del piano terra nel disegno della facciata quando le sue dimensioni rimangono quelle del corpo di fabbrica. Nella seconda striscia il disegno del piano terra si fa più autonomo dal restante corpo dell'edificio: ha dimensioni maggiori e caratteri distributivi stilistici diversi, definendo in tal modo un basamento formalmente riconoscibile. La terza striscia mostra invece casi in cui il piano terreno può essere considerato come un'architettura a sé stante, del tutto distinta dai corpi di fabbrica che le sono sovrapposti (uno o più d'uno)".

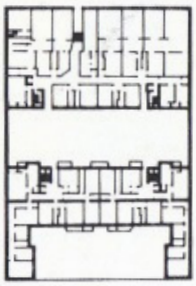


PIAZZA NAPOLI 19

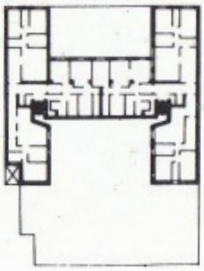


VIA STENDHAL 30

VIA MOISE LORIA 50

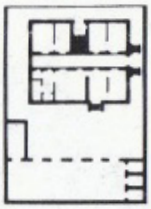


VIA BRUZZESI 25

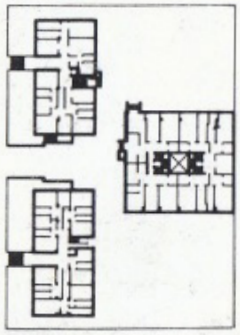


VIA COLA DI RIENZO 57

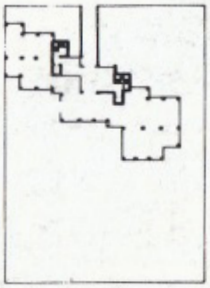
VIA SAVONA 3 3/A



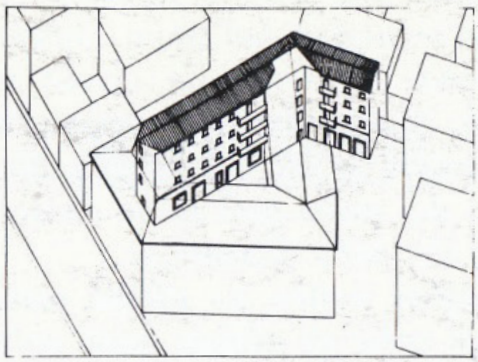
VIA SAVONA 37 37/A

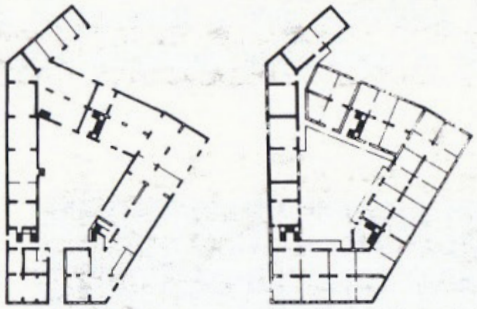


VIA BRUZZESI 35 37 39

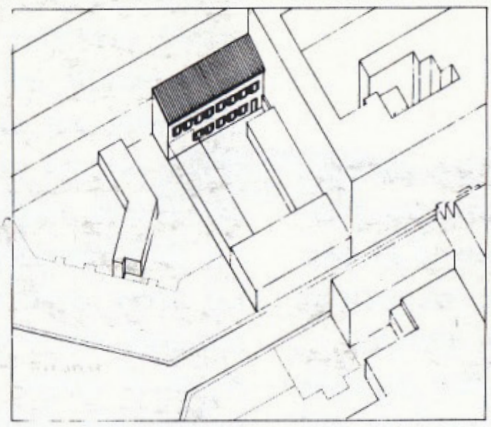


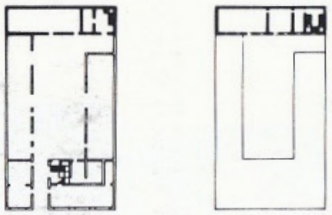
VIA BRUZZESI 21



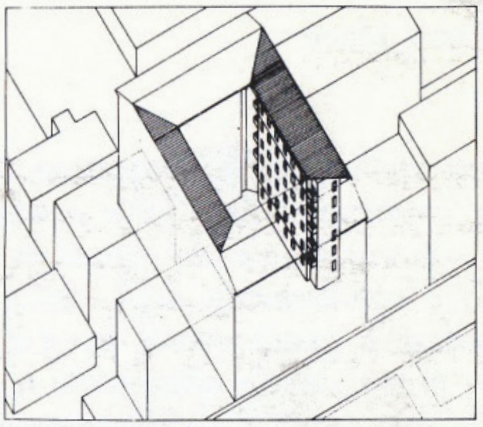


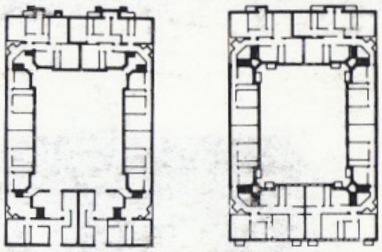
CORSO COLOMBO 15



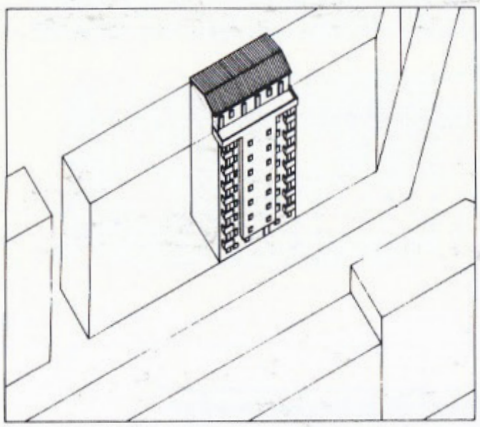


VIA MONTEVIDEO 10

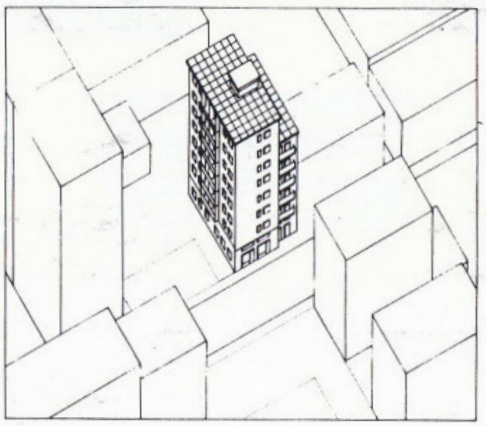




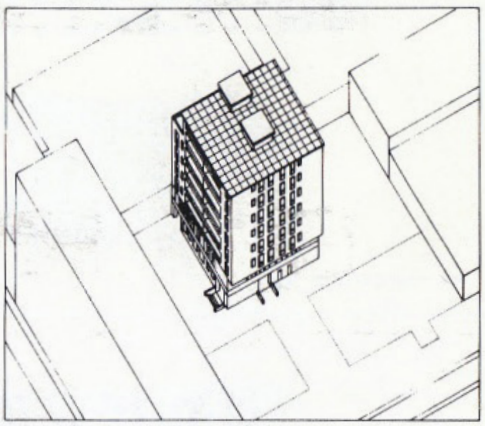
VIA VESPRI SICILIANI 6

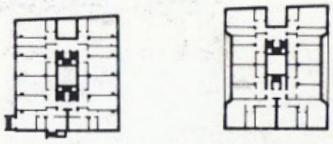


VIA BERGOGNONE 45

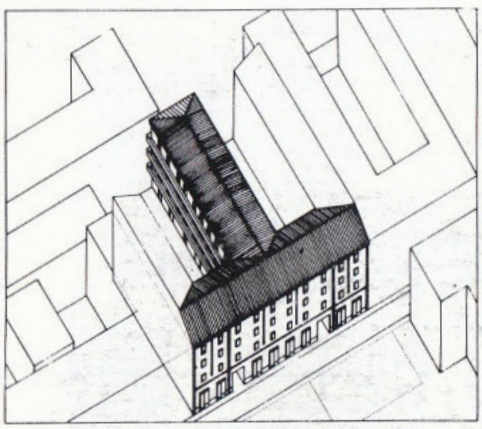


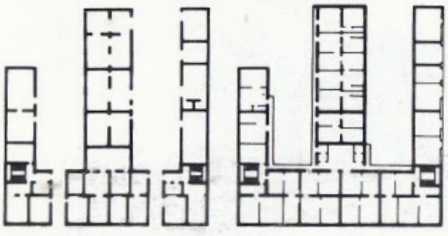
VIA VESPRI SICILIANI 5



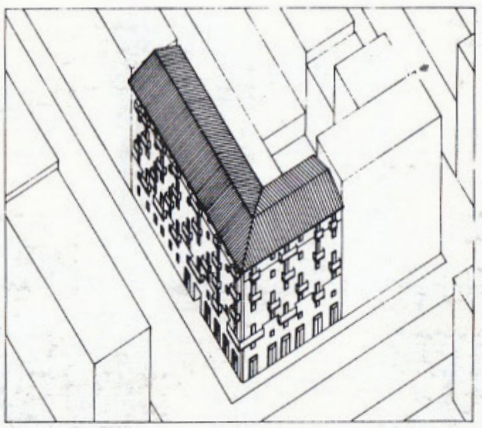


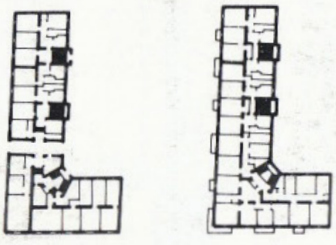
VIA BRUZZESI 37



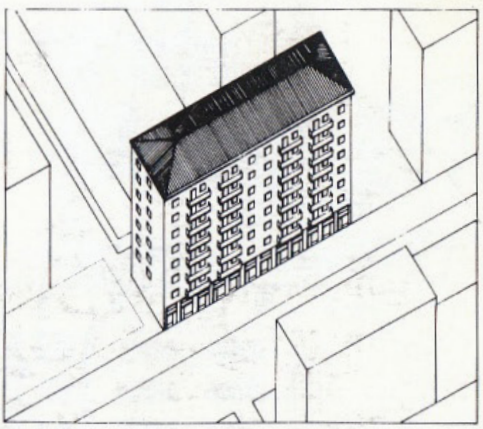


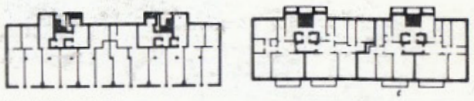
VIA SAVONA 13-15





VIA TOLSTOI 17



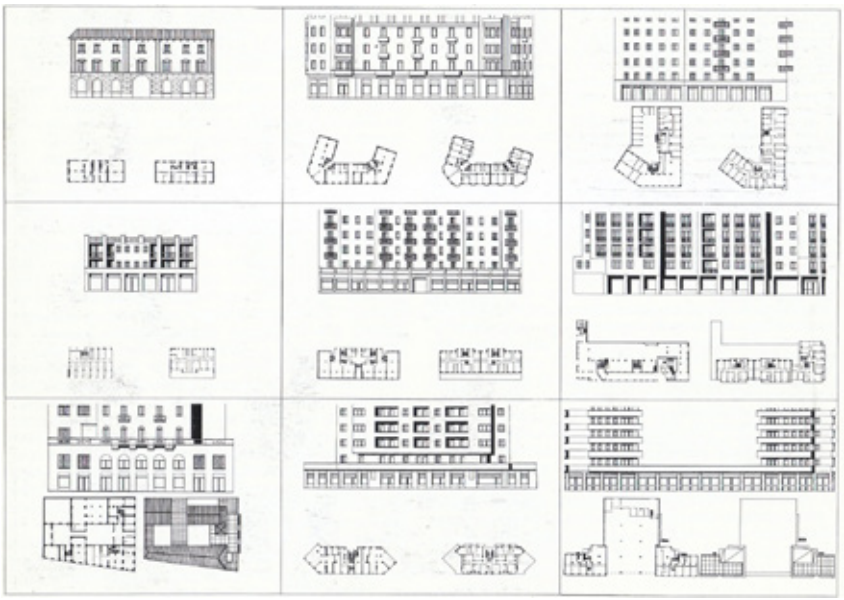


VIA SOLARI 23

2.6.3 IL CORPO DI FABBRICA

Con questa tavola gli autori si propongono di mostrare i differenti modi con i quali vengono organizzati oggi gli edifici residenziali, per sottolineare come sia ormai difficile riconoscere dei caratteri formali univoci.

"E' per questo che questa tavola si limita a descrivere le situazioni più frequenti nelle quali ritroviamo il corpo di fabbrica semplice (nella prima striscia orizzontale), a torre (nella seconda) e il corpo doppio (nella terza striscia). Non vi sono qui intenti classificatori ma soltanto la registrazione dei modi attraverso i quali più frequentemente si presenta e si organizza, proprio come dato volumetrico e dimensionale, la dislocazione delle quantità di costruito nella città contemporanea."



2.6.4 L'ULTIMO PIANO

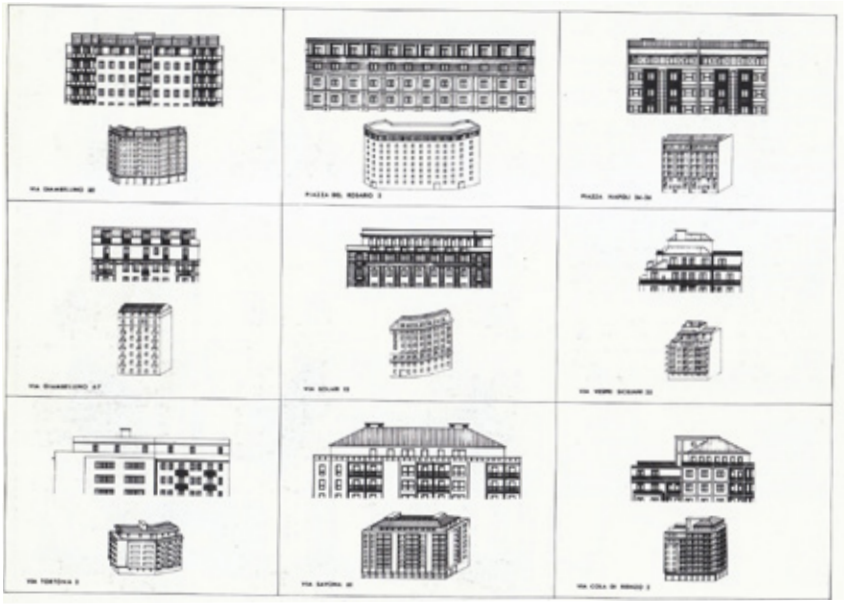
La lettura del coronamento degli edifici è analoga a quella fatta per il basamento.

"Nella prima striscia orizzontale il rilievo assunto dall'ultimo piano è particolarmente leggibile nel disegno della facciata, una sorta di partito decorativo connesso all'immagine dell'intero edificio. Gli esempi contenuti nella seconda striscia riguardano un modo di intendere il coronamento che è ancora contenuto in un'idea compositiva dell'intero edificio dal quale però se ne distacca sia nell'immagine che nella dimensione.

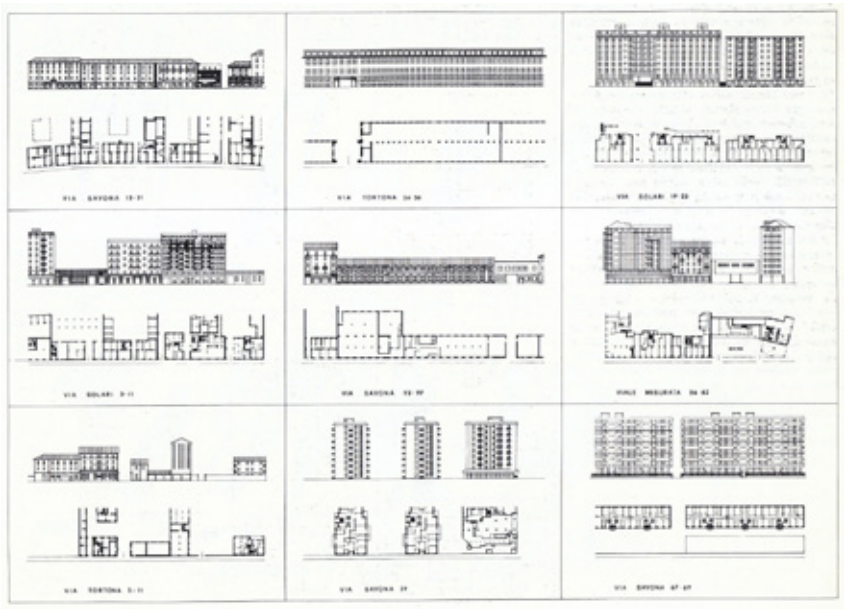
La terza striscia infine mostra un ultimo piano che può essere visto come un edificio basso posto sopra il corpo di fabbrica: per i suoi gradi di autonomia formale e tipologica potrebbe essere pensato come se fosse costruito al suolo. Sovente l'edificio non può essere indagato come un fatto unitario, ma come sovrapposizione di tre edifici diversi: uno al piano terra su cui è disposto il corpo di fabbrica intermedio alla cui sommità è posto un terzo edificio.".

2.6.5 LA CORTINA EDILIZIA

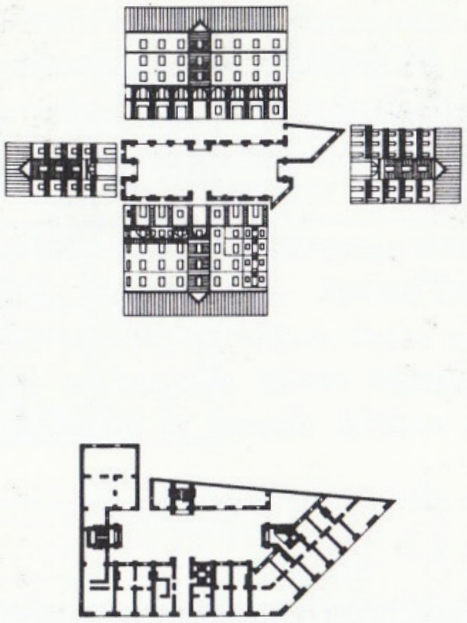
Nella cultura ottocentesca grande attenzione è rivolta all'uniformità e alla compattezza della cortina stradale (anche se esiste qualche eccezione); questi caratteri diventano nel tempo sempre meno costanti e vincolanti, fino a casi in cui si perde del tutto il concetto di cortina stessa.



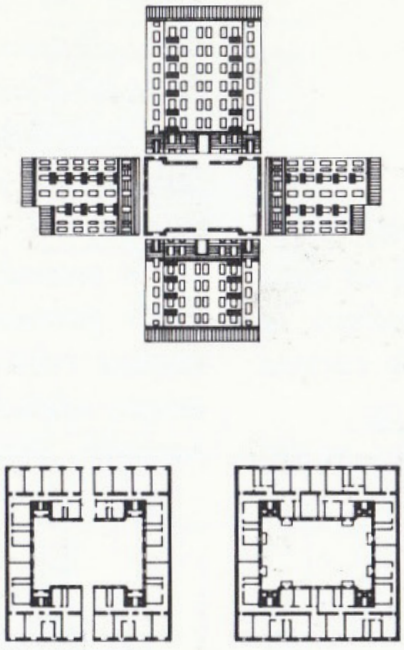
"La prima striscia orizzontale mostra esempi, molto diversi tra di loro, tutti riconducibili all'idea della continuità e della compattezza della cortina edilizia: il fronte di un isolato tardo ottocentesco, una manifattura del periodo tra le due guerre, la facciata di condomini costruiti negli anni cinquanta. Nella seconda striscia vengono illustrati casi in cui permane, nell'isolato, la continuità della cortina edilizia ma viene meno la sua compattezza: edifici di altezze molto diverse tra loro costruiti anche in epoche diverse si affiancano l'uno all'altro, spesso interrotti da tratti di edifici alti un solo piano.



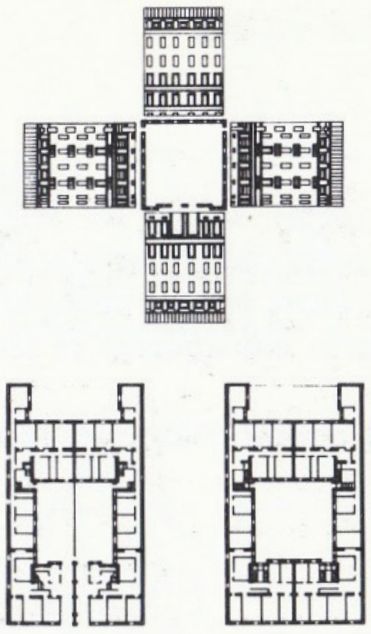
La terza striscia mostra come sia frequente [...] l'affaccio su strada di un isolato né compatto né continuo: [...]".



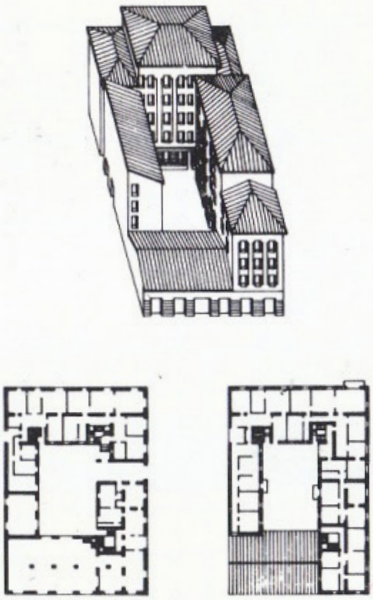
VIA TORTONA 12



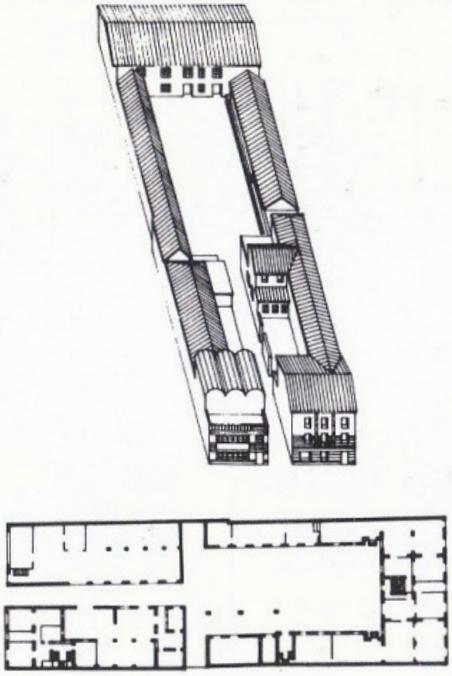
PIAZZA NAPOLI 25



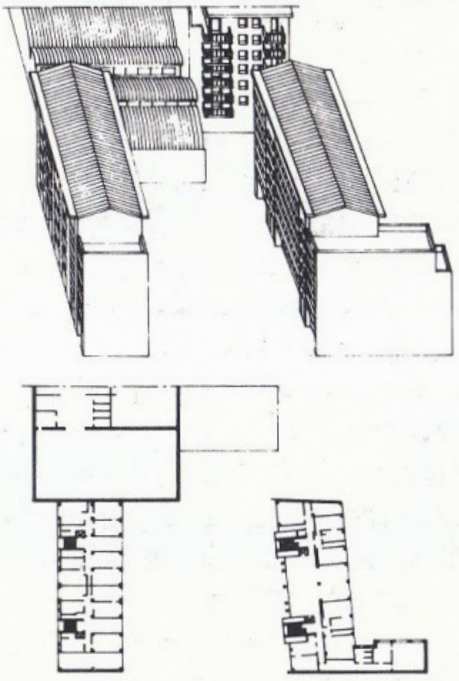
VIA COLA DI RIENZO 3-5



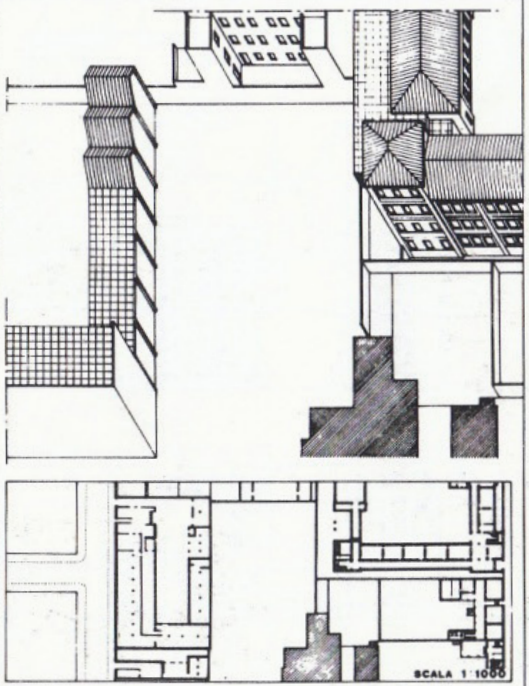
VIA BERGOGNONE 63



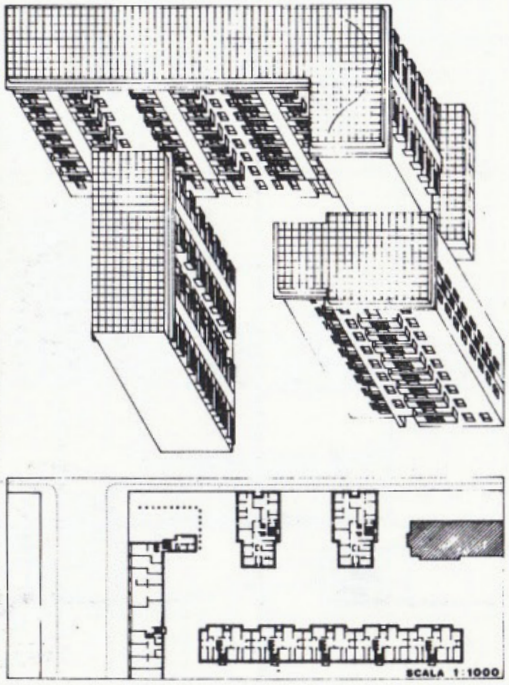
VIA SAVONA 21



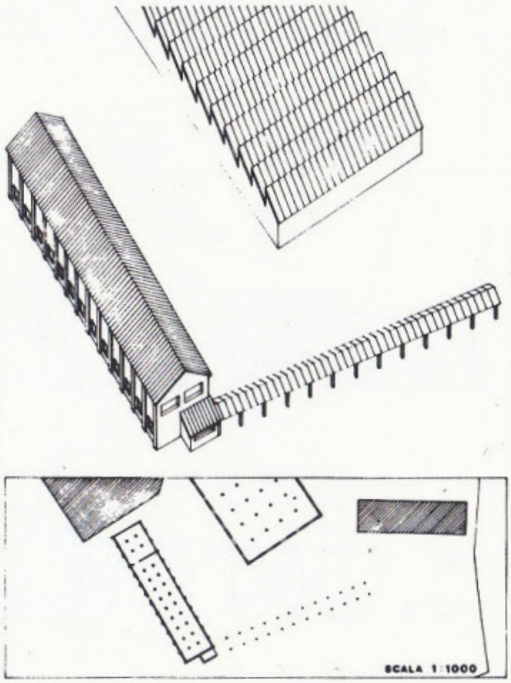
VIA ORSEOLO 3-5



PIAZZA DEL ROSARIO 4



VIA SAVONA 29-31



VIA PESTO 4

2.6.6 LE CORTI

Nell'abitazione ottocentesca la corte è uno degli elementi più caratteristici. La tipologia permane nel tempo, ma assume sfumature diverse.

"La prima striscia orizzontale mostra appunto casi in cui la corte appartiene all'edificio in senso strettamente tipologico: [...]. Nella seconda striscia scompaiono esempi per i quali non è più possibile parlare di edifici a corte ma di accorpamento di edifici attorno ad una corte: [...].

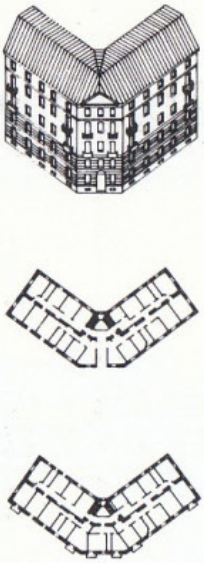
La terza striscia si riferisce infine a casi in cui l'idea di corte permane o è riconoscibile in situazioni delle quali non è nemmeno voluta: l'affaccio di retri di edifici diversi su uno spazio interno dell'isolato, [...].

2.6.7 LA CASA ALL'ANGOLO

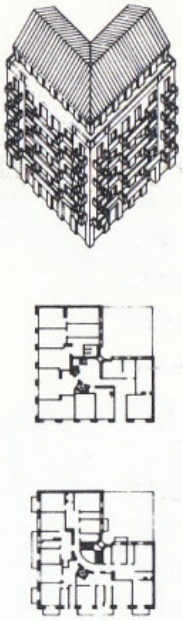
La posizione d'angolo consente di avere due affacci adiacenti su strada che conferiscono all'edificio un carattere un certo valore e pregio.

"La prima striscia orizzontale mostra appunto casi presenti [...] in epoche differenti in cui la soluzione del lotto d'angolo è attuata attraverso la definizione del tipo della casa d'angolo posta all'incrocio di strade che si intersecano rispettivamente ad angolo ottuso, ad angolo retto e ad angolo acuto. La seconda striscia si riferisce a esempi nei quali la soluzione d'angolo non è attuata mediante l'uso di un tipo edilizio specifico ma semplicemente attraverso l'uso di un corpo fabbrica [...] che, in corrispondenza dell'angolo, semplicemente svolta senza ce la sua particolare collocazione influisca sui modi della costruzione: [...].

La terza striscia infine illustra esempi nei quali la disposizione dell'edificio in un lotto d'angolo non provoca nemmeno la deformazione del corpo fabbrica."

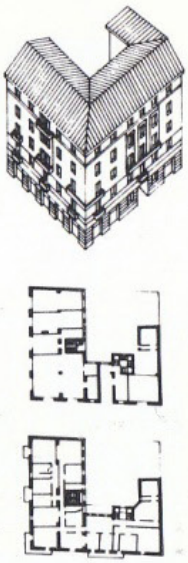


VIA COLA DI RIENZO 45

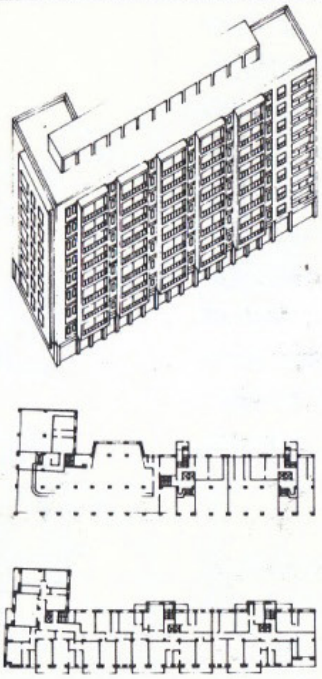


VIA COLA DI RIENZO 28

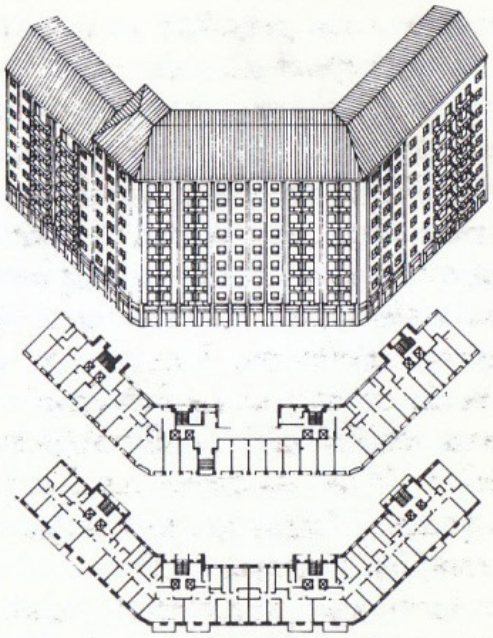
VIA CALIFORNIA 23



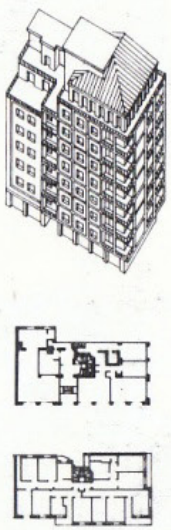
VIA BRUNELLESCHI 1



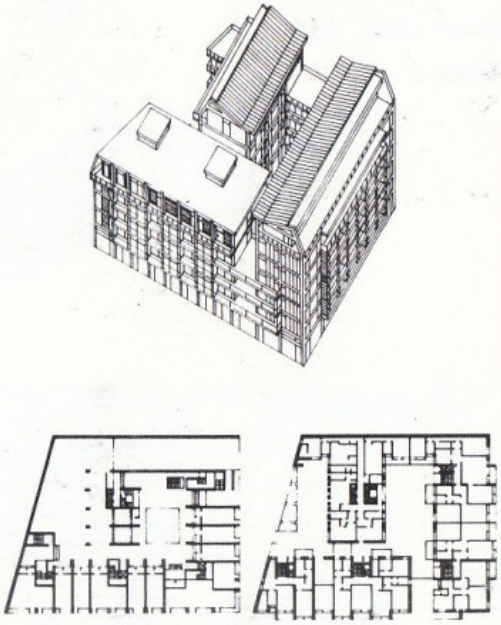
PIAZZA NAPOLI 31



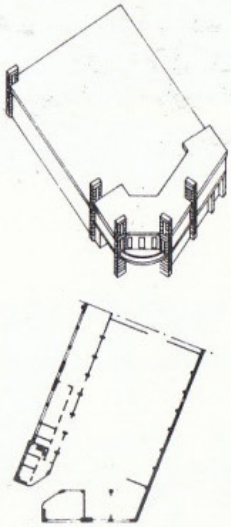
PIAZZA DEL ROSARIO 7



VIA COLA DI RIENZO 2



VIA VALPARAISO 9



VIA FOPPA 49

ANALISI URBANISTICA

evoluzione storica e catasti

stato di fatto

capitolo 03

3.1 EVOLUZIONE STORICO-URBANISTICA DI MILANO

3.1.1 LE MAPPE DI MILANO FINO AL 1800

Nelle pagine seguenti andremo a leggere alcune mappe storiche che ci aiutano a comprendere lo sviluppo della città. La prima carta che si propone è una ricostruzione del '900 dell'espasione della città tra il III sec. a.C. e il XIII d.C. che spiega molto bene come l'impianto romano a forma quadrata, composto in origine come da consuetudine da 'cardo' e 'decumano', viene completamente ribaltato nel medioevo quando per questioni di protezione su tutte le vie di accesso, si è preferito sviluppare una città radiocentrica, circondata dall'acqua dei navigli e dalle mura permeabili solo attraverso le porte e le pusterle posti in corrispondenza delle principali vie di collegamento di Milano con il resto delle Lombaria e d'Italia. Il centro della città è situato nella piazza dei mercanti, cioè la piazza del Broletto, oggi Palazzo della Ragione. Le sei porte d'accesso sono (in senso orario): P.ta Comasina; P.ta Nuova; P.ta Orientale; P.ta Romana; P.ta Ticinese; P.ta Vercellina.

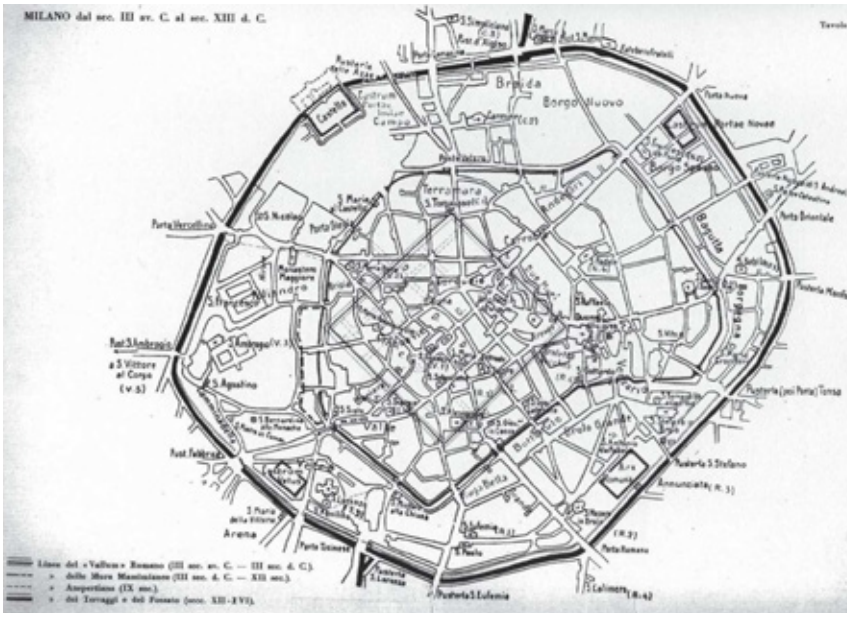


fig. 3.62 - *Milano tra il III sec.a.C. al XIII sec.d.C.*

A conferma di quanto descritto precedentemente, si allega una ricostruzione di Milano all'epoca di Federico I (1158) effettuata nel '800, dove sono ancora chiare le architetture tipiche dell'epoca romana; si può inoltre notare come le mura, oltre a includere il costruito, comprendono una grande quantità di terre per la coltura (allegato 17.1). In questa mappa non sono distinguibili i navigli dalle strade, si riporta allora un documento originale di qualche secolo più tardi, 1475, dove sono stati raffigurati gli edifici più rappresentativi, le mura e i corsi d'acqua principali (allegato 17.2).

Nel 1573 è stata effettuato la prima mappa di Milano seguendo un rigore scientifico di rilievo, rappresentata secondo la tecnica del planivolumetrico: Antonio Lafrery posiziona il castello spagnolo in alto nella tavola, dando un orientamento nord-ovest al disegno. La mappa riporta la città entro le mura più esterne (mura spagnole) e si nota come di queste sia rimasto solo il naviglio che le circondava e come l'abitato abbia saturato tutto lo spazio al loro interno, lasciando più libero quello tra il naviglio e le nuove mura. L'asse viario è rimasto praticamente invariato mentre sono praticamente scomparse le costruzioni romane a favore di due grandi opere: il Castello, rappresentato come l'architettura

predominante che si impone sulla città, e il Lazzaretto, che fa capire con la sua grandezza la gravità delle epidemie che si diffondevano facilmente all'epoca.

fig. 3.63 - *Mappa del 1573 di Antonio Lafrery*

Negli anni successivi sono state effettuate altre mappe che raffigurano le piccole modifiche che subisce Milano in questo periodo e che sono state riportate negli allegati 17.6;17.4. La seguente carta è stata effettuata da Marcantonio dal Re che disegna la città in planimetria. Egli riporta solo le costruzioni più significative (in sezione) ma rende bene l'evoluzione che ha subito la città entro le mura spagnole, con gli edifici che si sviluppano lungo le arterie principali ed il castello che ha raggiunto la massima configurazione militare.

fig. 3.64 - *Mappa del 1735 di Marcantonio dal Re*

3.2 I PIANI URBANISTICI

3.2.1 PIANO DEL 1801 - PINCHETTI

Il primo esempio di Piano Regolatore per Milano (che non viene però riconosciuto come tale), nasce dall'intenzione di Napoleone Bonaparte di consacrare il suo potere sulla città: nella topografia tracciata da Pinchetti nel 1801 è evidente la volontà di abbattere le mura a stella del Castello Sforzesco per sostituirle con un nuovo impianto circolare e la formazione di una nuova strada che collegasse Milano a Parigi. Di questo, è stato rispettato l'abbattimento delle mura e la formazione della strada, Corso Sempione, che terminava in una grande piazza dietro il castello: Piazza delle Armi.

fig. 3.65 - *Piano Regolatore di Milano 1801 , Pinchetti*

3.2.2 PIANO DEL 1807 (PIANO REGOLATORE NEOCLASSICO)

Sei anni più tardi lo stesso Pinchetti, disegna un nuovo piano nel quale prevede ,davanti al castello, un giardino con alberi, piante e vialetti disegnato dal Canonica; soprattutto colpisce per la prima volta la volontà (francese) di regolarità delle vie e dei collegamenti: vengono tracciate strade esclusivamente dritte, la più importante di queste attraversa la città dal castello fino all'Ospedale Maggiore. Restano però irrisolte la piazza del Duomo e l'area del Lazzaretto, ormai dismesso.

La stessa carta è stata acquisita dalla neonata Commissione di Pubblico Ornato per

controllare e regolare lo sviluppo edilizio nella città.

fig. 3.66 - *Piano Regolatore di Milano 1807, Pinchetti*

3.2.3 NESSUN PIANO TRA IL 1808 E IL 1885

Dal 1800 gli austriaci hanno continuato, come coi ducati pre-napoleonici, a disinteressarsi della città di Milano dal punto di vista urbanistico: non sono stati previsti piani di sviluppo e tutto quello che di nuovo si costruiva nasceva da esigenze momentanee e senza studi preliminari. Per questioni ovviamente politiche e di traffico, lo sviluppo maggiore si può notare nel quadrante nord-est, con la creazione di nuove vie maestre (oggi Corso Venezia/ V.le Monza). Al di fuori dei bastioni, verso la fine della dominazione, nel 1860, le due opere più importanti sono il Cimitero Monumentale e la Stazione Centrale (posizionata seicento metri più avanti di quella attuale).

Dal 1861, con l'Unità d'Italia, i milanesi si cimentano nel compito di rinnovare la città e di adattarla a nuovi bisogni. Tra il 1800 e il 1860 la popolazione era passata da 134.000 a 243.000 abitanti. Benché non pianificata su carta, l'intenzione era quella di sviluppare maggiormente l'asse nord-sud della città: risalgono a questo periodo interventi come la nuova arteria Carlo Alberto (oggi Via Mazzini), perpendicolare all'asse del Duomo che collega via Torino e corso di P.ta Romana (a sud) con via Manzoni e via Santa Margherita (a nord).

L'Arch. Giuseppe Mengoni vince nel '61 il concorso per la realizzazione della Galleria Vittorio Emanuele, e il progetto per la piazza del duomo, completata però alla fine del secolo.

Nel 1876 iniziano i lavori per la costruzione della Ferrovia Nord, oggi Stazione Garibaldi; questo evento, unito alla realizzazione di nuove arterie e della galleria pedonale, danno

inizio allo sviluppo di Brera vista come è oggi, con botteghe, servizi commerciali e luogo di incontro.

fig. 3.67 - *Interventi tra il 1860 e il 1885*

3.2.4 PIANO DEL 1889 (PIANO BERUTO)

Quando nel 1884 è stato affidato a Cesare Beruto la stesura di un Piano Regolatore per la città di Milano; risultavano ancora irrisolti alcuni problemi di tipo urbanistico: la ferrovia, che ormai circondava la città, poneva un ostacolo fisico non indifferente all'espansione residenziale; l'area della Piazza d'Armi era rimasta senza destinazione, un subbuglio non ben definito chiuso a nord-ovest dallo scalo merci, a nord dal corso Sempione, a est dall'arena e a Sud dal castello.

Gli studi preliminari effettuati dal Beruto confermarono, come già si era riscontrato, che le aree migliori sulle quali sviluppare la città erano a nord, nord-ovest. Egli infatti definisce nel suo piano un'espansione di Milano in quella direzione. Poiché riconosce che nei secoli il centro urbano si era sviluppato a "sezione d'albero", prevede che questo fattore storico venga mantenuto e rispettato, ideando così una stratificazione del nuovo costruito come una lenta cristallizzazione di edifici lungo i principali raggi della città.

Nel piano era chiara l'intenzione di spostare la Piazza d'Armi a nord dello Scalo del Sempione, con un disegno alquanto strano che non rispecchiava le vie già presenti prima a Sud dello Scalo ma secondo una simmetria lungo corso Sempione e il cimitero Monumentale. La vecchia piazza secondo il piano sarebbe stata inizialmente destinata ad ospitare nuove vie ed edifici, ma successivamente è stata pensata come giardino.

Il Comune non adottò il piano del Beruto ma gli affidò comunque l'incarico di inquadrare l'espansione urbana al nord-ovest. Furono allora realizzati, la nuova piazza d'armi, il giardino all'inglese noto oggi come Parco Sempione, una serie di strade, piazze

e rotatorie che suddividono in lotti regolari l'area intorno al corso Sempione, ed infine è stato redatto un progetto per decentrare la Stazione Centrale.

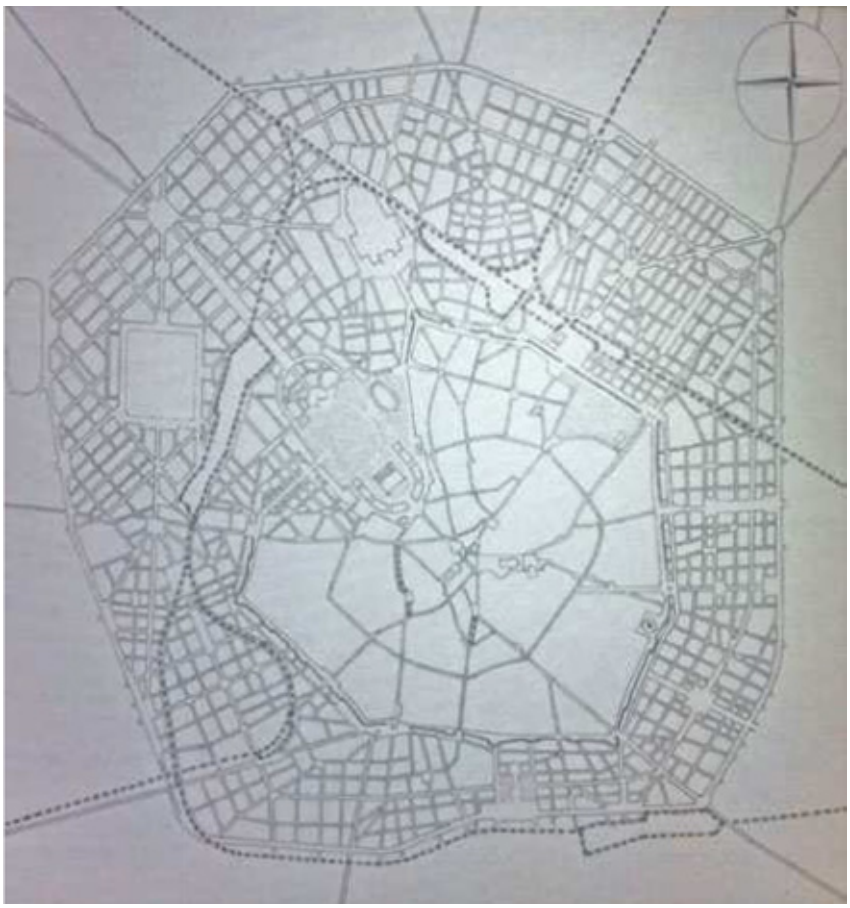


fig. 3.68 - *Piano Beruto 1889*

3.2.5 PIANO DEL 1912 (PIANO MASERA)

Nel 1909, studi effettuati sull'incremento demografico di Milano, hanno mostrato che le previsione sulle quali si basava il Piano Beruto, non erano esatte, infatti si è registrato il 40% in più di popolazione effettiva rispetto quella che era prevista. Si è dovuto così pensare ad un nuovo Piano Regolato affidato all'ing. Pavia, sotto la responsabilità dell'ing. Masera. Lo schema geometrico del nuovo piano non differenzia per nulla dallo schema del Beruto: la trama permane a ragnatela e lo sviluppo della compagine avviene mediante l'aggiunta di una fascia che tende a riempire tutto lo spazio vuoto tra la circonvallazione esterna e la nuova cintura ferroviaria. Inoltre, nel piano era prevista la realizzazione di nuove strade, venivano tracciate tagliando o eliminando completamente molti giardini privati.

3.2.6 PIANO DEL 1934 (PIANO ALBERTINI)

Negli anni successivi al 1912 Milano viene stata sconvolta dalla Prima Guerra Mondiale; questo ha causato un primo arresto dell'incremento demografico che però si è moltiplicato negli anni successivi al 1918 (dopo la fine della guerra) tanto da dover provvedere all'espansione della città tramite l'aggregazione di undici comuni limitrofi (1923), senza una regola o un piano generale.

Il governo fascista attuò una grande riforma dei municipi: a Milano, nel 1927, venne indotto un concorso di idee per provvedere alla stesura di un Piano Regolatore conforme

Bastione di P.e Garibaldi
P.e GARIBALDI
Viale di
Bastione di
Viale di Porta
Bastione di P.e Volta
Via Alessandro Volta
Giannone
Bramante
Piazza Lega Lombarda
Moscova
Via della Statuto
Palermo
Via Solferino
Via Ancona
Via Goito
Piazza S. Marco
Pontaccio
Via Byron

ai tempi e all'evoluzione della città. Questo è il primo caso in cui viene effettuata una gara così importante, in genere queste decisioni erano compiti dell'ufficio tecnico comunale. Il concorso è stato vinto da Piero Portaluppi e da Marco Semenza, successivamente è stato affidato all'ing. Cesare Albertini per la redazione del Piano Regolatore definitivo.

Il piano rimane fedele allo schema monocentrico dei precedenti piani. L'Albertini conferisce un'importanza primaria alle vie di Circonvallazione, mentre lascia secondarie tutte le strade di servizio interno. Lo schema circolatorio più interno, è caratterizzato anch'esso da una viabilità ad andamento anulare, detta strada di scarico; questa è collegata al centro attraverso le radiali già esistenti, esclusa via Dante, che collega direttamente il castello con piazza Duomo; ed è invece collegata alla circolare più esterna attraverso strade riqualificate e rinnovate, tra queste ricordiamo Via San Marco, Via Legnano che costituiscono i due vertici di Via Palermo (Largo Claudio Treves).

fig. 3.69 - *1912, Piano Pavia-Masera: quadrante di zona Brera*

L'area di progetto è evidenziata in rosso.

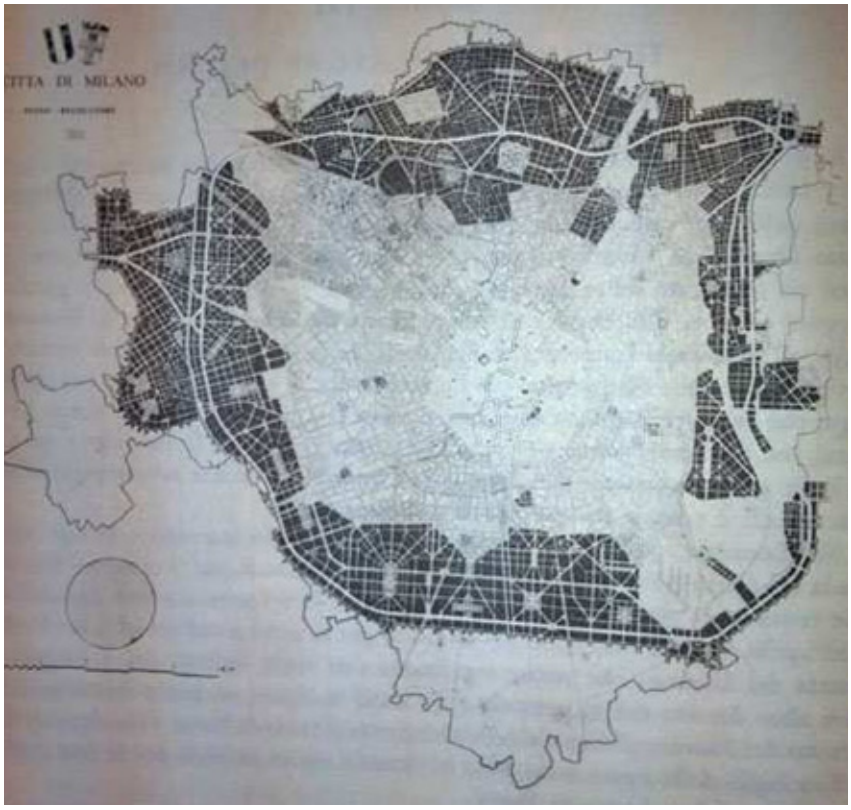


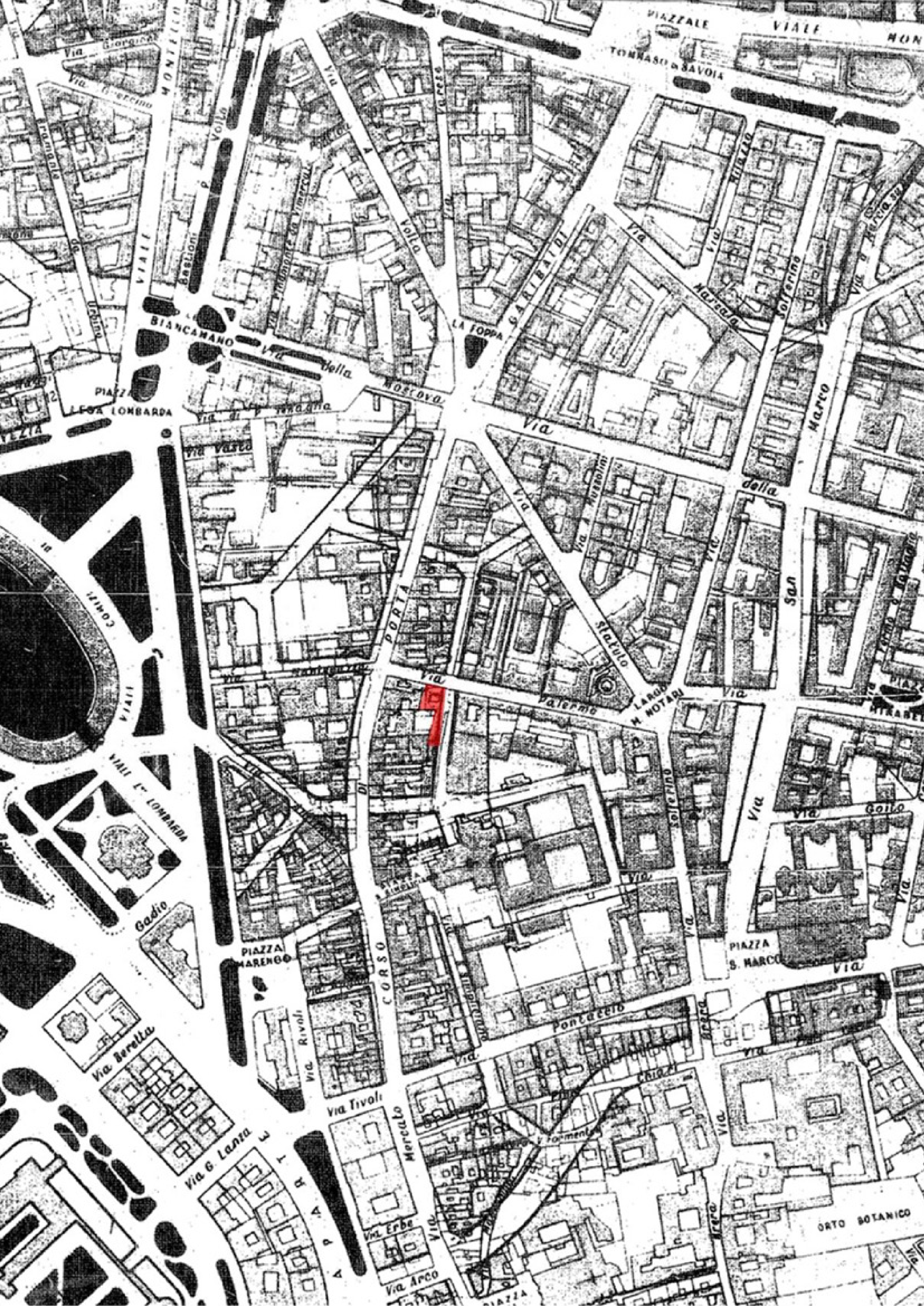
fig. 3.70 - *Piano Albertini 1934*

3.3 LETTURA DELLE MAPPE CATASTALI

3.3.1 EVOLUZIONE STORICA DEI CATASTI DI MILANO

Catasto Teresiano (1720-1723)

La città di Milano è stata rilevata rispettando le diverse Giurisdizioni nella quale era suddivisa. Non è possibile ottenere una mappa d'unione, perciò, per studiare l'area d'interesse di questa ricerca, si riporta di seguito la copia della mappa della Giurisdizione di Porta Comasina. Si riesce a leggere dettagliatamente la conformazione del quartiere, sviluppato alla destra del castello spagnolo (cinto dalle mura a stella) lungo l'asse nord-sud. Il percorso viario principale è Corso di porta Comasina (oggi Corso Garibaldi), sul


PIAZZALE
VIALE
TOMMASO di SAVOIA
BIANCAMANO
Via della Moscova
LA FOPPA
GARIBALDI
PIAZZA
LEGA LOMBARDA
Via Vasto
Via Statuto
Via Palermo
LARGO M. NOTARI
Via Solferino
Via San Marco
Via della
Via Pontaccio
Via Goito
PIAZZA S. MARCO
PIAZZA MARENGO
CORSO DI PORTA
Via Rivoli
Via Tivoli
Via Beretta
Via G. Lanza
Via Mercato
Via Erbe
Via Arco
ORTO BOTANICO
Via Chiozzi
VIALE LOMBARDIA
Gadio
Via Urbino
Via Brera
Via Fatebenefratelli
Via Anfossi
MONTELLO
VIALE
Bastioni
Volta
Via Volta
Via Marsala
Via Milazzo
Via Montebello
Via Mazzolini

quale si affacciano diversi fabbricati.

I differenti colori degli edifici rappresentano l'area di influenza delle parrocchie. È possibile notare come le aree a nord, fanno tutte riferimento alla parrocchia di San Simpliciano: lungo il suo corso affacciavano le case contadine, mentre sul retro vi erano i terreni adibiti a coltura.

fig. 3.71 - *1934, Piano Albertini: quadrante di zona Brera*

L'area di progetto è evidenziata in rosso.

fig. 3.72 - *Catasto Teresiano, Copia del 1751*

Catasto Lombardo Veneto (1855)

Nel 1855 è stato richiesta una nuova rilevazione dei fabbricati nel territorio Lombardo. La mappatura di Milano è durata venti anni. Il territorio è stato suddiviso in 39 parti uguali. Rispetto al foglio precedente si può leggere bene lo sviluppo nella città di nuovi assi viari, prettamente circolari, che connettono i diversi percorsi radiali già presenti nel catasto Teresiano. Nonostante ciò il profilo delle mura è rimasto ancora invariato. Si nota la nuova conformazione che ha assunto la l'area intorno al castello con alle spalle piazza d'armi e l'arena, la definizione del grande giardino all'inglese in prossimità di porta Venezia ed il disegno definitivo di piazza duomo e della galleria Garibaldi. I colori in questa carta distinguono i fabbricati civili, le chiese, i corsi d'acqua, i parchi e le mura di cinta (bastioni).

Catasto Cessato (1898)

L'ultima cartografia di cui discuteremo è il Nuovo Catasto Terreni, il cui rilievo della città di Milano è durato otto anni (1894-1902). Il quadro d'unione è composto da 41 fogli. In questa mappa si può notare la grande densità dei fabbricati. Si vede il disegno del parco Sempione, la realizzazione di nuove strade che rafforzano lo schema precedente con la definizione di assi principali (molto grandi) e strade di servizio (dimensioni più contenute).

A differenza degli altri catasti questo può essere definito bicromatico, in quanto viene utilizzato il colore rosso per gli edifici e l'azzurro per i corsi d'acqua. Non vi sono indicazioni cromatiche riguardo i parchi.

EVOLUZIONE STORICA DEI CATASTI: Via Palermo

fig. 3.73 - *Nuovo Catasto Terreni, 1894-1902*

Dallo studio e dall'analisi dei catasti storici sono emerse alcune considerazioni importanti riguardanti la zona di Brera, area di nostro interesse comprendente il lotto di progetto, e la sua evoluzione storica. Si può notare come fin dal 1721 nel Catasto Teresiano sia già presente il Corso di Porta Comasina, oggi Corso Giuseppe Garibaldi, principale asse viario di collegamento e di commercio nord-nud che taglia l'intera zona Brera. Lungo questo tracciato successivamente si svilupparono abitazioni allineate lungo la strada principale come una sorta di borgo dentro le mura composto da edifici (con un fronte ridotto sulla strada) allungati verso l'interno dell'isolato, con piano terra per attività artigianali e commerciali al piano superiore, formato da corti su stretti lotti gotici. La ridotta estensione territoriale del quartiere è dovuta ad alcuni condizionamenti del prospiciente margine urbano: la porzione occidentale del quartiere venne demolita per far posto al Castello Sforzesco (XIV secolo), o meglio all'area di rispetto che lo circondava, e infine all'Arena.

Ampie proprietà religiose, molte delle quali soppresse in epoca napoleonica, furono a lungo la principale caratteristica funzionale e fisica del quartiere. Gli spazi aperti dei manufatti religiosi e dei palazzi nobiliari (giardini, cortili pertinenziali, orti) contraddistinguono il quartiere, con un ruolo commerciale, di naturale strada mercato, derivante dall'essere in rapporto diretto con il contado.

Quadro d'unione dei fogli rettangoli

Alla Scala di 1:12500

Compilato dal *Disegnatore Ottaboni Pietro*

fig. 3.74 - *Catasto Lombardo-Veneto 1855*

Agli inizi dell'Ottocento s'insediano nel tessuto urbano diverse attività produttive e di conseguenza le abitazioni per i ceti popolari. La domanda di abitazioni operaie modifica l'originaria tipologia urbana, aggiungendo corpi edilizi e ballatoi nelle parti interne e nuovi edifici che sostituiscono l'originario tessuto mercantile. Lo sfruttamento intensivo delle aree interne agli isolati avviene in particolare con l'apertura, dopo il 1850, di alcune strade: le vie Solferino, Palermo, Statuto, Marsala, Milazzo.

fig. 3.75 - *Catasto Teresiano 1721*

L'abbattimento delle mura spagnole nonché la copertura dei Navigli diedero un nuovo impulso alle trasformazioni modificando il tessuto fra i canali e i bastioni: da fabbriche e case popolari a tessuto terziario. Il quartiere di Brera prende nome dalla via omonima che attraversa in direzione nord il settore del centro storico: quartiere caratterizzato da funzioni culturali e artistiche che hanno portato alla costruzione di residenze per ceti medio-alti. La specializzazione culturale nasce con l'Accademia di Brera, fondata nel 1776 con Maria Teresa d'Austria nell'incolta terra "braida" (termine di origine germanica

per indicare uno spiazzo erboso, da cui il nome di Brera). Il tessuto urbano di questo quartiere si presenta più denso rispetto alla zona di Corso Garibaldi, anche a seguito della ricostruzione seguita alle distruzioni belliche.

Le diramazioni secondarie all'asse (tra le quali Via Palermo) si aprirono solo successivamente al 1850, come si può notare dal Catasto Lombardo-Veneto del 1855. Dal confronto del catasto Teresiano del 1721 con quello del 1855 si può notare come la Basilica di San Simplicio fosse già presente, con il suo impianto attuale, mentre l'area d'interesse su via Palermo inizia ad esserci solo successivamente al 1850. Sono riscontrabili anche diversi edifici di nuova costruzione quale l'edificio a cortina lungo l'asse di via Palermo, nella parte retrostante un enorme parco di sua proprietà, e la nascita dell'interno isolato con Piazza Treves. Nel Catasto Cessato nel 1898 è sempre presente l'edificio appartenente all'area di intervento e viene ridefinito l'intero isolato con l'inserimento del nuovo tracciato, Via Statuto, che taglia l'intero quartiere collegando Piazza Moscova con Piazza Treves mentre una parte dell'edificio a cortina viene demolita e ridimensionata secondo diversi volumi.

3.4 EVOLUZIONE CARTOGRAFIE DELL'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE

Qui di seguito sono riportate le cartografie dell'Istituto Geografico Militare dal 1888 al 1950. Si può vedere come l'evoluzione di Milano sia stata omogenea negli anni. Confrontando i rilievi tra il 1924 e il 1936 si nota la brusca riforma voluta dal fascismo, unico grande intervento degli ultimi anni, che ha comportato la realizzazione di nuove strade e fabbricati soprattutto nell'area Ovest della città.

fig. 3.76 - *Catasto Lombardo-Veneto 1855*

fig. 3.77 - *Catasto Cessato 1898*

Piazza
S. Simpliciano
Piazza
S. Marco

fig. 3.78 - *IGM 1888*

fig. 3.79 - *IGM 1900*

fig. 3.80 - *IGM 1907*

fig. 3.81 - *IGM 1910*

fig. 3.82 - *IGM 1914*

fig. 3.83 - *IGM 1924*

fig. 3.84 - *IGM 1936*

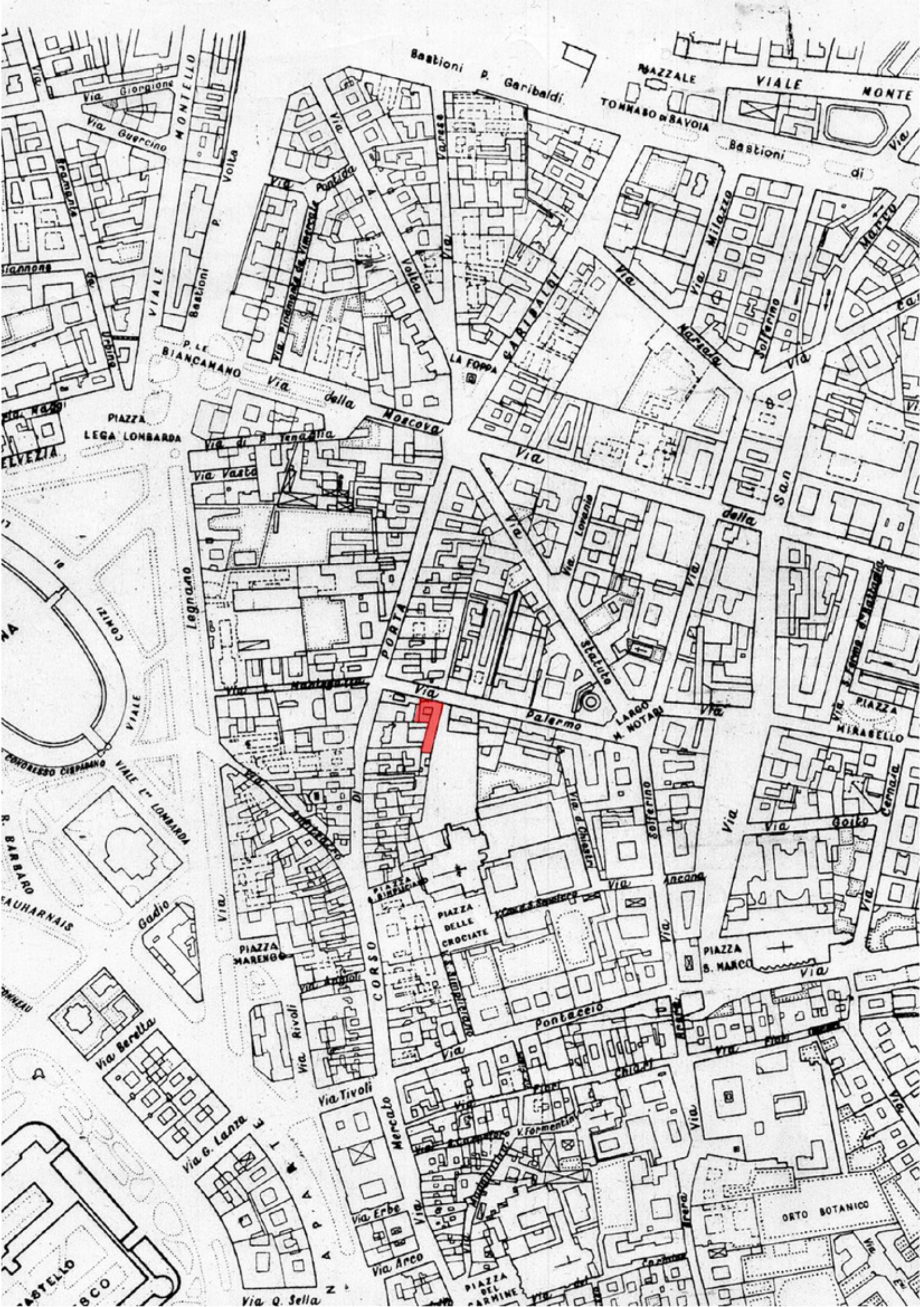
fig. 3.85 - *IGM 1950*

fig. 3.86 - *Carta Tecnica Comunale 1946*

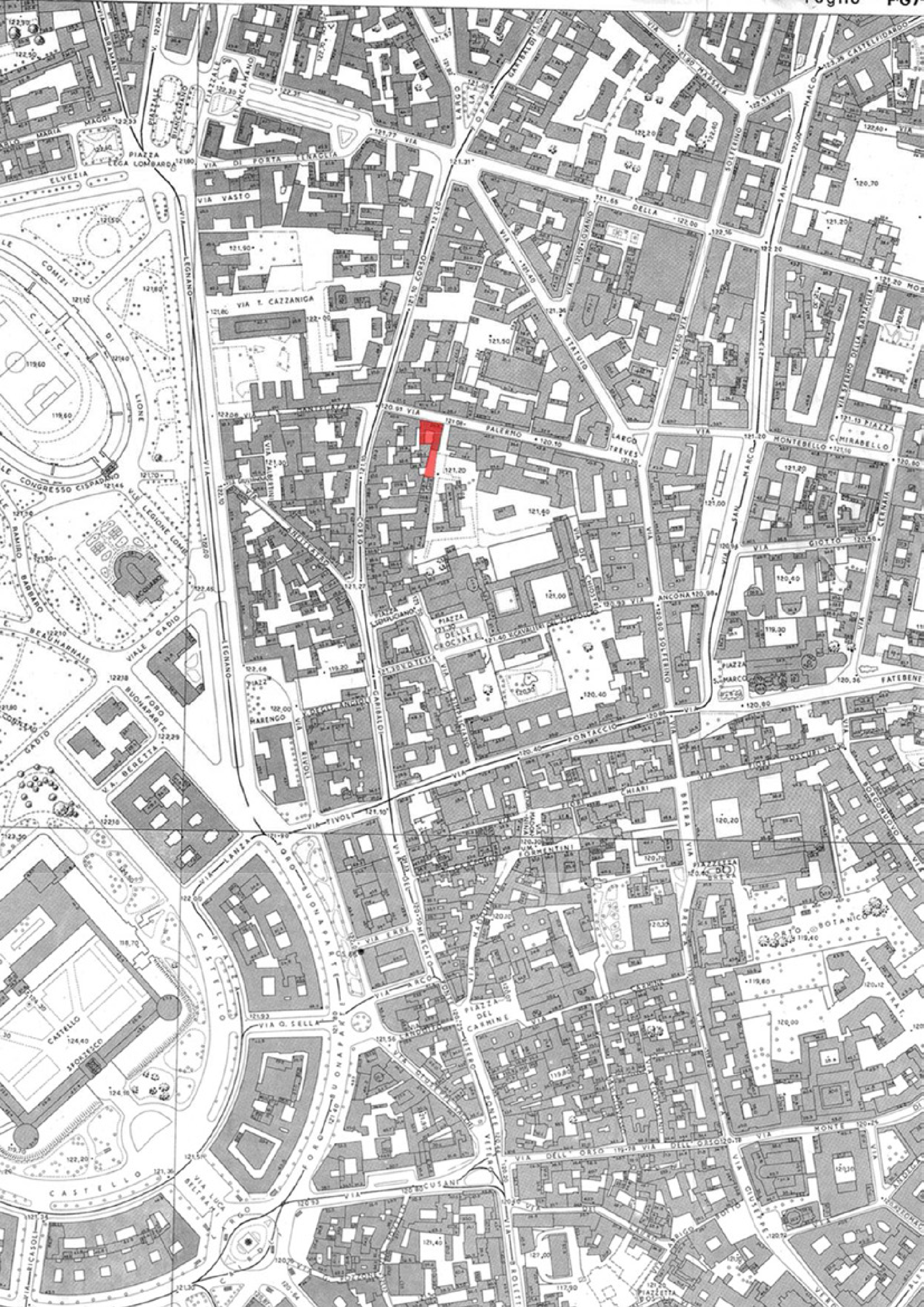
fig. 3.87 - *Carta Tecnica Comunale 1966*

fig. 3.88 - *Carta Tecnica Regionale 1985*

fig. 3.89 - *Carta Tecnica Regionale 1994*



Bastioni P. Garibaldi
PIAZZALE
VIALE MONTE
TOMMASO di SAVOIA
Bastioni di
Via Giorgione
Via Guercino
MONTELLO
Bramante
Giannone
VIALE
Bastioni P. Volta
Via Pontida
Via Pinamonte da Vimercate
Via Volta
Via Varese
Via Milazzo
Via Marsala
Solferino
Via Marco
GARIBALDI
LA FOPPA
P. LE BIANCAMANO
Via della Moscova
PIAZZA LEGA LOMBARDA
Via di P. Tenaglia
Via Vasto
Via della San
Via Lovanio
Via Statuto
Via Palermo
LARGO M. NOTARI
PIAZZA MIRABELLO
Via S. Fermo d'Battaglia
Via Goito
Via Cernaia
Via Ancona
Via Pontaccio
Via Fiori Chiari
Via Fiori Oscuri
Via Arena
Via Mercato
Via Rivoli
Via Tivoli
Via Erbe
Via Arco
Via Q. Sella
PIAZZA DEL CARMINE
PIAZZA DELLE CROCIATE
PIAZZA S. SIMPLICIANO
PIAZZA MARENGO
PIAZZA S. MARCO
CORSO DI PORTA
Via Legnano
Via Amiteazzo
Via Angioli
Via Mantegazza
Via Lomonaco
Via Ferrante
Via Berretta
Via G. Lanza
Via Gadio
VIALE LOMBARDA
CONGRESSO CISPADANO
R. BARBARO
EAUHARNAIS
CONNEAU
CASTELLO
ORTO BOTANICO



VIA DI PORTA TENAGLIA
PIAZZA LEGA LOMBARDA
VIA VASTO
VIA T. CAZZANIGA
LEGNANO
CORSO
VIA PALERMO
LARGO TREVES
VIA STATUTO
VIA DELLA MOSCOVA
SOLFERINO
VIA SAN MARCO
PIAZZA MIRABELLO
MONTEBELLO
VIA GIOTTO
VIA ANCONA
CERNAIA
PIAZZA S. MARCO
FATEBENEFRATELLI
VIA PONTACCIO
PIAZZA DELLE CROCIATE
VIA TIVOLI
GARIBALDI
CHIARI
BRERA
FORMENTINI
ORTO BOTANICO
VIA ARCO
VIA Q. SELLA
PIAZZA DEL CARMINE
MERCATO
LANZA
FORO BUONAPARTE
PIAZZA CASTELLO
CASTELLO SFORZESCO
VIA DELL' ORSO
VIA MONTE DI PIETÀ
VIA CUSANI
VIA LUCA BELTRAMI
VIA RICASOLI
PONTE VETERO
VIA ROVELLO
VIA ERBE
ACQUARIO
CIVICA
VIALE GADIO
VLE LEGIONE LOMBARDA
CONGRESSO CISPADANO
VIA A. BERETTA
FORO BUONAPARTE
ELVEZIA
PIAZZA GARIBALDI
MAROCCO
PIAZZA VENTIMIGLIA

PASUBIO
122,3
V.LE
MONTE
CRISPI
BASTIONI DI P.TA
122,5
119,8
P.ZA
LEGA
121,8
LOMBARDA
VIA
121,3
MARCO
DELLA
SAN
VIA
121,4
120,9
120,8
122,0
122,1
120,9
VIA
121,3
120,8
LEGNANO
FORO

PASUBIO
1223
V.LE
MONTE
CRISPI
BASTIONI DI P.TA
1225
119,8
P.ZA
LEGA
LOMBARDA
121,8
VIA
121,3
MARCO
DELLA
SAN
VIA
121,8
120,9
120,8
122,0
LEGNANO
122,1
121,3
120,9
VIA
120,8
FORO

3.5 ANALISI DEI SERVIZI

L'indagine relativa allo stato dei servizi offerti da Milano ed in particolare del quartiere di Brera, è stata redatta al fine di garantire una conoscenza del contesto tale da considerare adeguatamente le possibilità di scelta della funzione pubblica, richiesta dal bando di concorso, che ospiterà l'edificio di progetto.

L'indagine si sviluppa secondo due scale: la prima definisce i principali servizi offerti dalla città di Milano e la seconda si concentra sul quartiere di Brera, all'interno del quale sorgerà Il Cigno.

Milano

La città di Milano è il capoluogo della Lombardia, la regione più sviluppata d'Italia suddivisa in 12 province e 1574 comuni. La sua superficie si estende per 23.860,62 km^2 risultando la quarta regione più grande d'Italia e la seconda per densità con 419,74 abitanti/km^2.

Il territorio della provincia di Milano si localizza nella Lombradia centro-occidentale, nel tratto di alta pianura padana compreso tra il fiume Ticino Ovest e il fiume Adda Est.

Al centro del pentagono industriale europeo, a fianco di Londra, Parigi, Amburgo e Monaco di Baviera, Milano, vanta il ruolo di città più produttiva d'Italia, con 367 miliardi di dollari (undicesima al mondo per prodotto interno lordo).

fig. 3.90 - *Provincia di Milano*

1. Brianza
2. Nord Milano
3. Nord e Groane
4. Rhodense
5. Legnanese
6. Castanese
7. Magentino
8. Abbiatense-Binaschino
9. Sud Milano
10. Sud-Est Milano
11. Martesana-Adda
12. Milano

La sua popolazione si aggira intorno a 1,3 milioni abitanti (seconda solo a Roma) ai quali vanno tuttavia aggiunti i residenti di un hinterland in continua espansione, che fanno capo a Milano sia da un punto di vista culturale che professionale dato l'altissimo numero di pendolari.

Oltre ad essere il vero e proprio centro economico dell'Italia, Milano è con la stessa importanza, il polo del *design italiano*, con il quale ci si vuole riferire a tutte le forme di disegno industriale inventate e realizzate in Italia, compresa la progettazione d'interni, la progettazione urbana ed architettonica, il design e la moda.

Tra i più celebri autori milanesi vanno ricordati: Achille Castiglioni, Bruno Munari, Carlo Scarpa, Ettore Sottsass e Giò Ponti.

La città è suddivisibile in 9 zone. L'area di progetto si trova all'interno della *zona 1*, delimitata dalla Cerchia dei Bastioni, che confinano il centro storico.

La presenza di un contesto di tale importanza, implica un approccio progettuale attento alle necessità sociali, storiche, di carattere estetico-formale, rispettoso della storia e ricco di significato; seppur qualsiasi progetto dovrebbe rispettare tali condizioni, in questo caso sono inderogabili e guidano la buona riuscita del progetto.

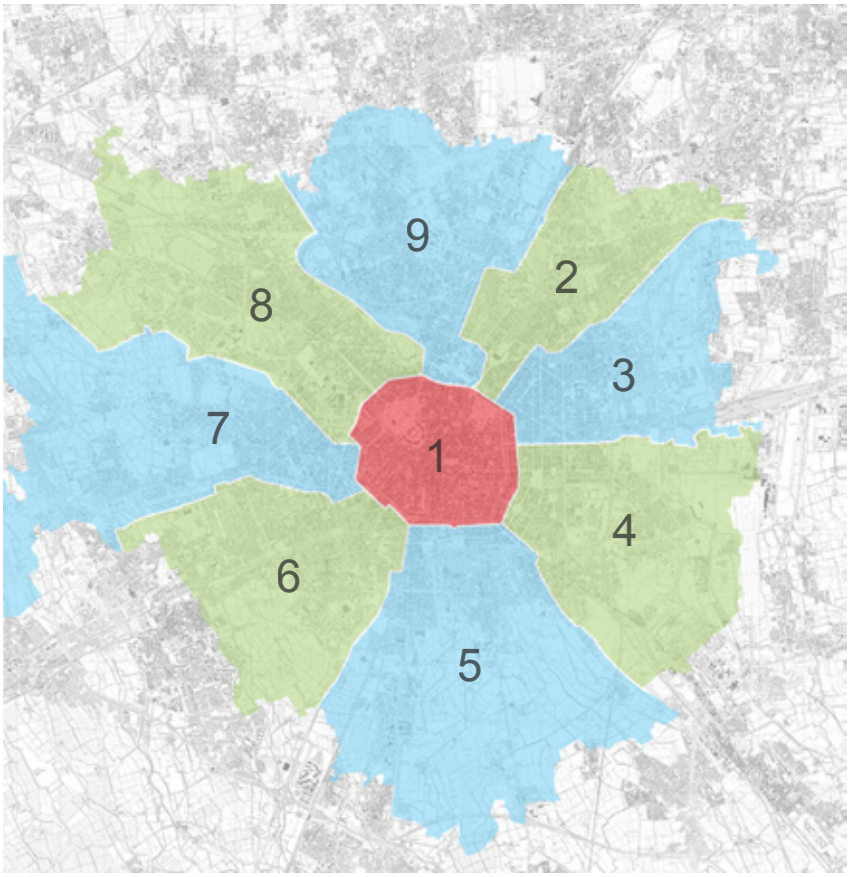


fig. 3.91 - *Suddivisione del territorio di Milano*

ZONA 1. Duomo, Castello-Breara, Porta Romana, Porta Ticinese, Porta Venezia, S. Ambrogio, Sempione

ZONA 2. Stazione Centrale, Gorla, Turro, Greco e Crescenzago

ZONA 3. Porta Venezia, Città Studi, Lambrate

ZONA 4. Porta Vittoria, Porta Romana, Forlanini, Monluè, Rogoredo, Corvetto.

ZONA 5. Porta Ticinese, Lodovica, Vigentino, Chiaravalle, Gratosoglio

ZONA 6. Barona, Lorenteggio, Giambellino, Porta Genova.

ZONA 7. Porta Vercellina, Baggio, De Angeli, Forze Armate, San Siro

ZONA 8. Porta Volta, Fiera, Gallaratese, Quarto Oggiaro

ZONA 9. Porta Nuova, Stazione Garibaldi, Niguarda, Bovisa, Fulvio Testi

Il quartiere di Brera

Il nome del distretto deriva della famosa via Brera. E' considerato il quartiere degli artisti, ma anche di storia, cultura e architettura e si estende fino a via Pontaccio, via Fatebenefratelli, via dei Giardini, via Monte di Pietà, via Ponte Vetero e via Mercato.
All'interno dell'area sorgono diversi edifici di notevole importanza storico-culturale quali: la Pinacoteca di Brera, l'Accademia di Belle Arti e la Biblioteca Nazionale Braidense, oltre che la Galleria d'arte moderna 'il Castello'.
Analizzando il quartire di Brera, secondo le direttive comunali definite nel piano di governo del territorio (PGT), quest'area è compresa all'interno delle *zone A e B* che risultano soggette ad un piano di recupero (PR).

Le aree limitrofe al lotto, evidenziate in arancione nella tavola seguente, fanno parte del *nucleo storico consolidato*, sono quindi soggette a vincoli di conservazione e risultano aree particolamente sensibili essendo a stretto contatto con il centro storico.

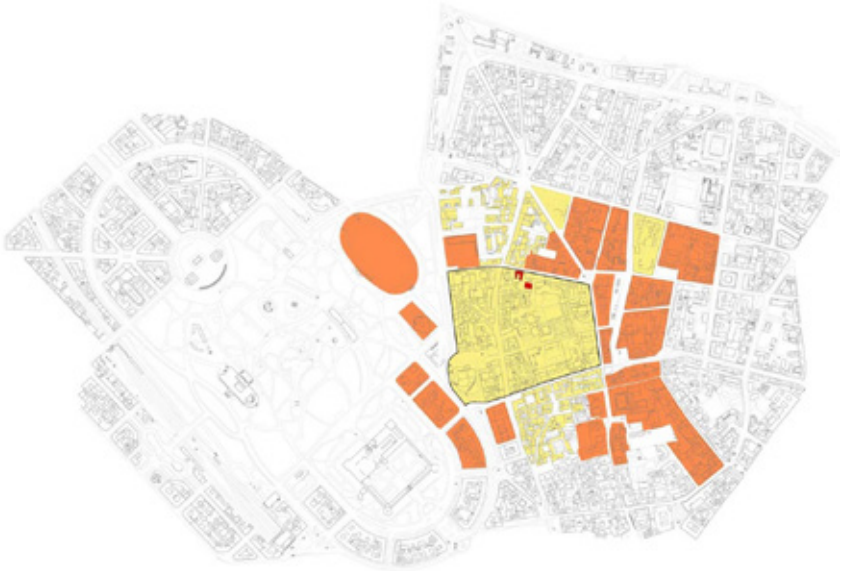
In fase di progettazione è necessario confrontarsi direttamente con il contesto in modo da instaurare un dialogo formale-architettonico che rispetti il quartiere storico di Brera e, allo stesso modo, che sia capace di relazionarsi con il recupero dell'esistente e la nascita dei nuovi edifici pianificata dal PGT, in previsione dell'*EXPO 2015*.

La zonizzazione è stata determinata mediante l'analisi del PGT del comune di Milano, con particolare riferimento al *Piano delle Regole* [allegato R.01/2D].

Le suddette aree di recupero si caratterizzano per la presenza di vuoti urbani, ossia piccole aree dismesse, veri e propri spazi vuoti o contenenti rovine di edifici preesistenti tendenzialmente circondate lungo il perimetro da edifici di modesto valore, ma comunque in stretta relazione con il patrimonio storico-architettonico della città.

L'analisi urbanistica dell'area e del suo intorno è stata impostata verso l'individuazione dei servizi urbanistici presenti nella zona, con particolare riferimento all'intorno immediato individuato da un raggio di azione di circa 1 km.

La distanza è stata scelta in relazione all'accessibilità dei servizi considerati, ovvero raggiungibili a piedi o con un ridotto uso dei trasporti pubblici.



L'analisi urbanistica si è focalizzata sull'individuazione dei servizi presenti nell'area:

- supermercati e centri commerciali
- istituti d'istruzione (asili, scuole, università ed enti scolastici in generale)
- strutture sanitarie e farmaceutiche
- parcheggi (pubblici e privati)
- aree verdi

3.5.1 SERVIZI COMMERCIALI

Al fine di determinare la dislocazione dei servizi sul suolo milanese, si è fatto ricorso al PGT, in particolare al *Piano dei Servizi* [allegato S_02/SD]. Successivamente è stato effettuato un sopralluogo al fine di verificare la veridicità di tali informazioni, ulteriormente approfondite tramiete l'ausilio di strumenti informatici come ad esempio *Google Earth*.

La ricerca di supermercati e centri commerciali, come mostra l'immagine relativa all'*individuazione dei servizi commerciali*, ha portato alla localizzazione di un solo centro commerciale nell'arco di 500 m, seguito da un paio di attività di minore importanza nel raggio di azione di 1 km dal sito di progetto.

Al fine di valutare le possibili attività pubbliche da inserire nell' area di progetto, si è valutata la necessità di sviluppare un'analisi di dettaglio delle varie attività presenti nel raggio di 500 m da via Palermo.

Come base per l'evidenziazione delle attività è stato utilizzato l'aerofotogrammetrico della città di Milano. L'area di progetto si trova in una zona commerciale a media densità.

Corso Garibaldi, Brera e corso Como sono caratterizzati da forti addensamenti di attività commerciali ben collegati tra loro e alla città stessa che servono sinergicamente il quartiere.

La facile accessibilità pedonale, data dalle aree a traffico limitato, consente un'ottima fruibilità e vivibilità del quartiere innalzandone notevolmente la qualità della vita.

Il distretto è caratterizzato da una ricca offerta di servizi di tipo gastronomico e folcloristico che rendono l'area molto caratteristica e stimolante.

Le attività commerciali sono state suddivise considerando le peculiarità della zona:

- attività di lusso
- attività di quartiere
- bar e pub
- discoteche

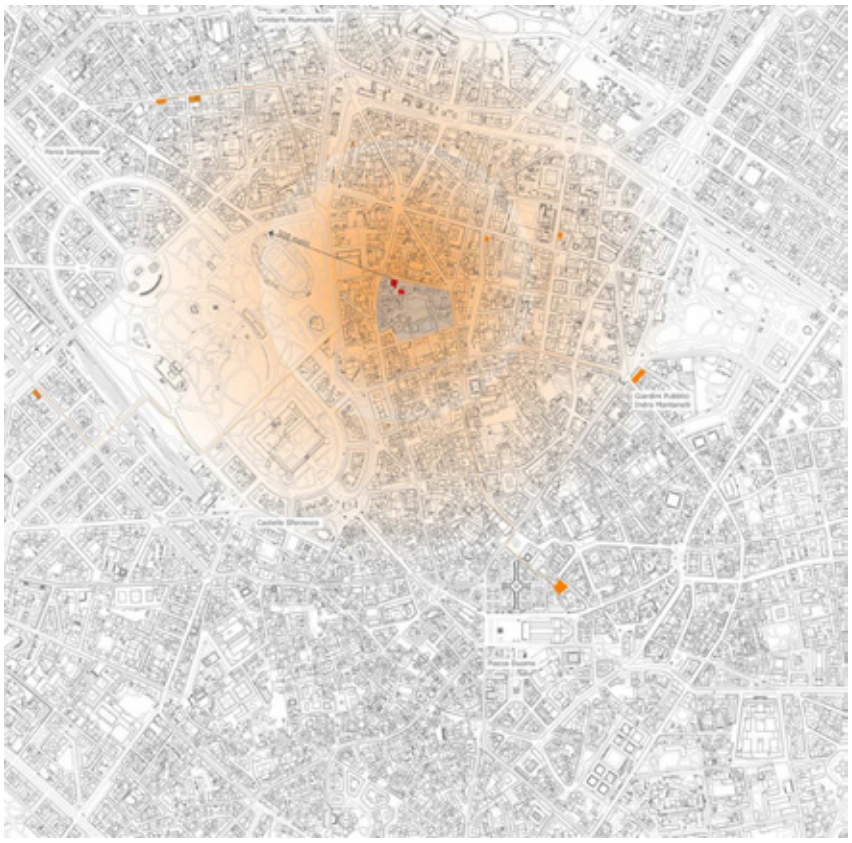


fig. 3.92 - *PGT Comune di Milano Individuazione dei servizi commerciali*

- ristoranti
- uffici
- hotel

Per attività di lusso si intendono i negozi di abbigliamento di alta moda e di design presenti nella zona. Le attività di quartiere comprendono tutti i negozi di abbigliamento, i panifici, i parrucchieri, le farmacie e le varie attività di normale diffusione. Tra gli uffici ci sono varie agenzie di organizzazione eventi, banche, sedi di partito, etc.

ATTIVITA' COMMERICALI

Tipologia							
n° di attività entro dist. 1 km	*20*	*350*	*56*	*4*	*79*	*31*	*3*

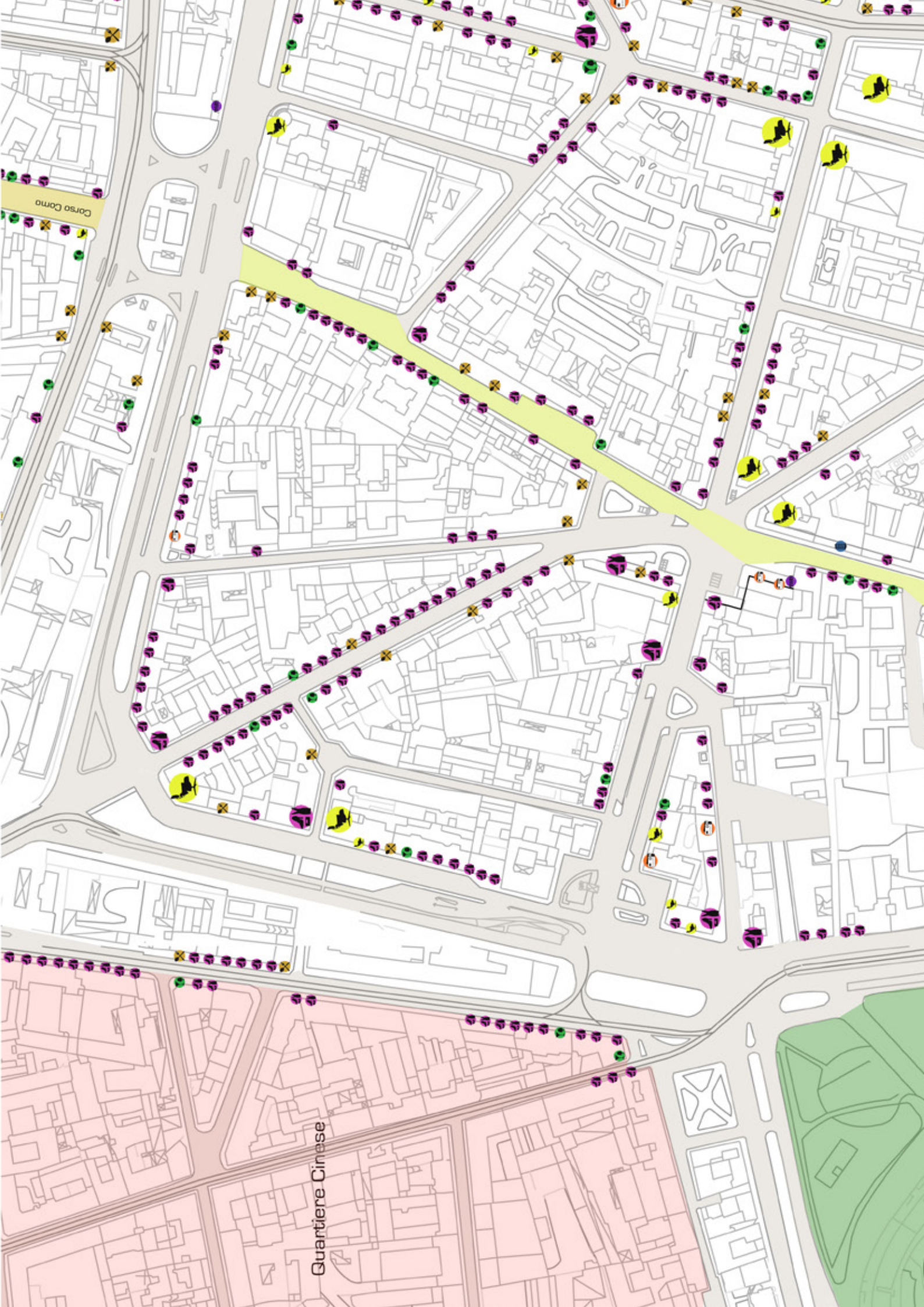
Da una prima analisi delle attività e della tipologia di servizi offerti dalle tre zone principali prossime al sito di progetto, si nota una fruizione differente degli utenti a seconda degli orari e da zona a zona. Il quartiere di Brera è frequentato da una utenza media di età tra i 30 e 50 anni per tutto l'arco della giornata. La mattina invece, in corso Como, si ha un'utenza media di età tra i 30 e 50 anni, mentre la sera è caratterizzata da una forte componente giovanile. Corso Garibaldi rappresenta una sorta di connessione tra le due zone e non mostra alcuna componente di utenza prevalente durante l'arco della giornata.

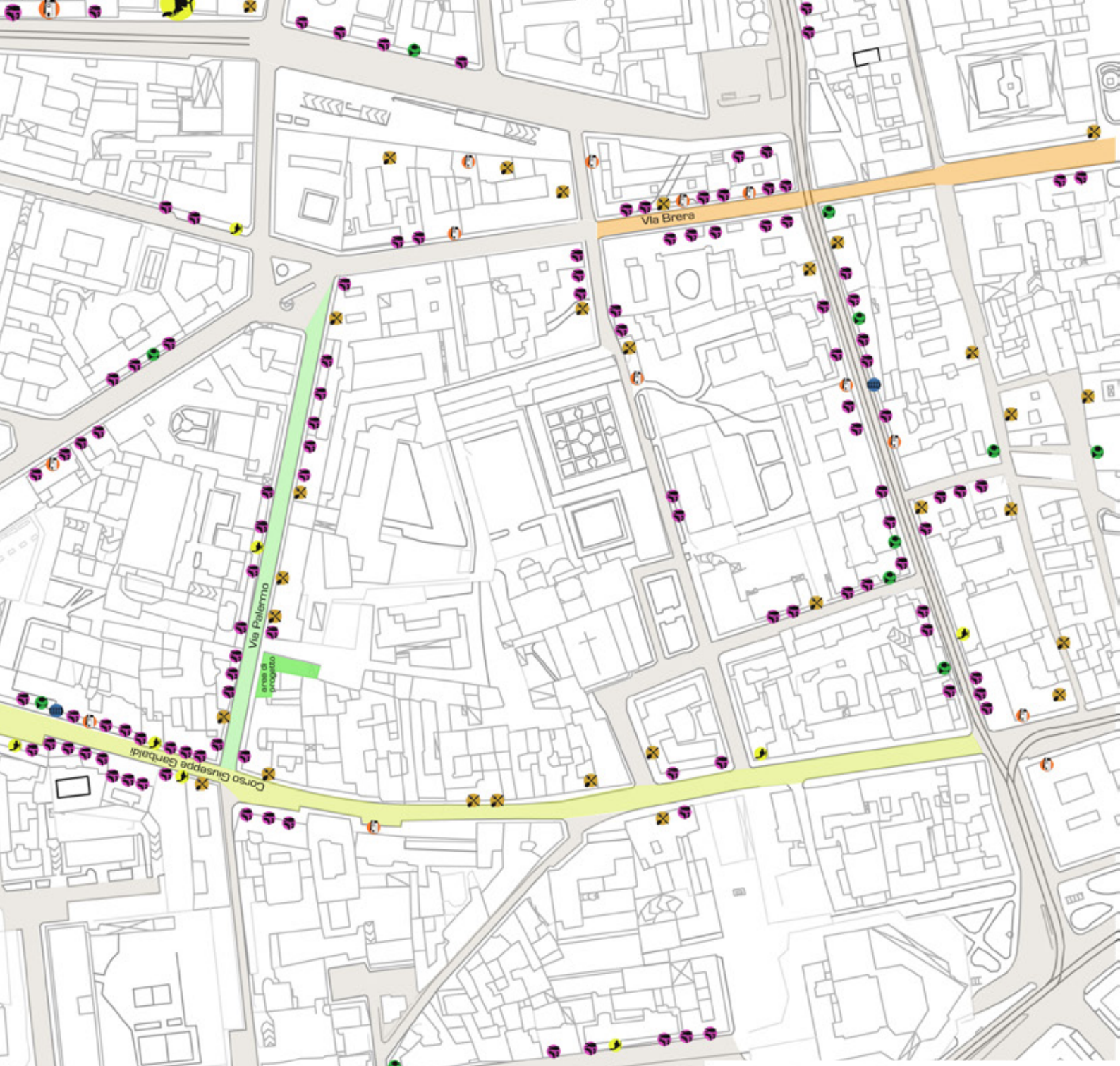
	età media utenti		
Periodo	**corso Como**	**quartiere di Brera**	**corso Garibaldi**
Giorno	30-50 anni	30-50 anni	25-60 anni
Sera	20 30 anni	30-50 anni	25-60 anni

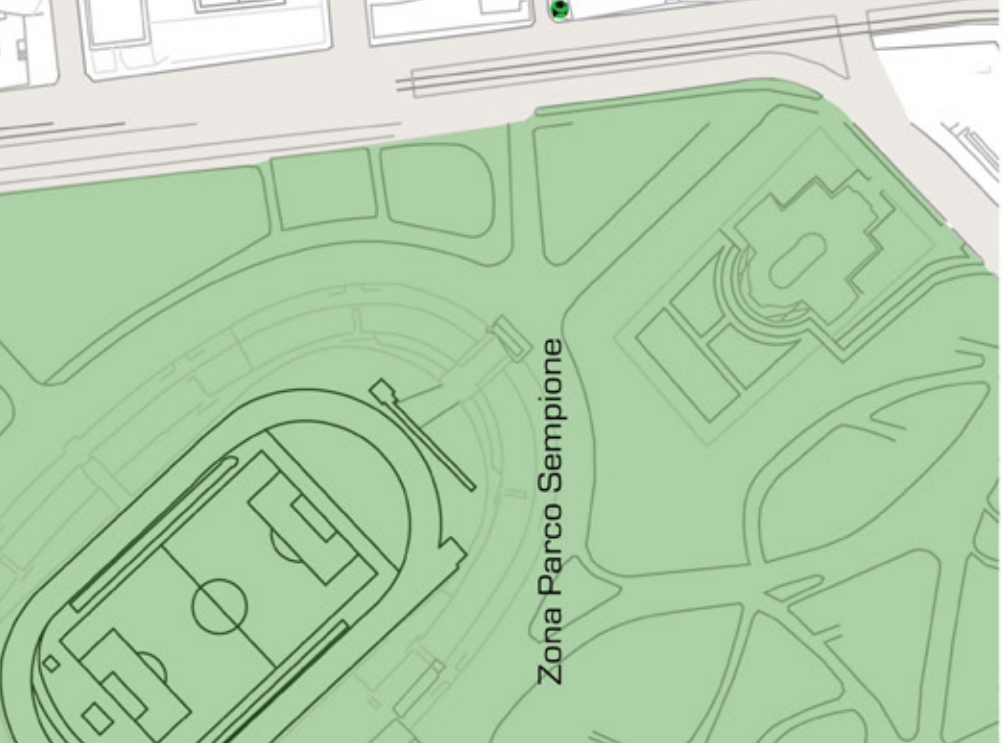
Tutta la zona oggetto d'esame è ben servita da molte attività commerciali. Le attività carenti sembrano essere quelle legate alla parte attiva della cultura.

Vicinissimo al lotto di progetto è situato il Museo Minguzzi, dedicato al famoso scultore italiano Luciano Miguzzi, costruito a Milano nel 1996, che raccoglie le maggiori opere plastiche, pittoriche e grafiche dell'autore ed offre eventi e mostre di varia natura. Tra queste vengono organizzati laboratori per bambini improntati alle procedure di lavorazione delle sculture. Con il solo scopo di analisi delle opportunità che offre il sito di progetto, sono state condotte delle considerazioni critiche delle attività che risultano assenti o poco inserite all'interno quartiere di Brera.

ATTIVITA' CARENTI NELLA ZONA
laboratori interattivi per bambini e ragazzi
ristorante in posizione panoramica
caffe'/bar rivisitato in chiave culturale artistica
attivita' legate alla discografia e alla musica
centro editoriale
attivita' legate alla comunicazione


Corso Como
Quartiere Cinese





INDIVIDUAZIONE SERVIZI COMMERCIALI

- Attività di quartiere
- Bar e pub
- Ristoranti
- Uffici
- Attività di lusso
- Hotel
- Discoteche

Premio _ COMPASSO VOLANTE 2012
ETTORE ZAMBELLI

ANALISI PRELIMINARI _ SERVIZI

30 m

3.5.2 CENTRI D'ISTRUZIONE

La ricerca degli istituti d'istruzione, [Rif. Figura 44], ha seguito le linee guida adottate per l'analisi precedente.

Nelle immediate vicinanze dell'area di progetto sono presenti un asilo nido e un paio di istituti d'istruzione privati. Nell'area individuata da un raggio d'azione di 500 m circa sono inoltre presenti altri poli d'istruzione, fra i quali emerge in par- ticolar modo l'Accademia delle Belle Arti di Brera.

Oltre a questa analisi a macroscala, è stato effetuato uno studio a livello di dimensione urbana, sulla collocazione delle università o stituti di formazione superiore, rispetto all'area di progetto. Infatti, la scelta della funzione d'uso inserita, deriva anche dall'analisi dei servizi ad essa relativi e dalla loro distanza dall'area di progetto.

Per quanto riguarda la disposizione del lotto rispetto ai poli universitari, esso si colloca in un punto centrale rispetto a questi, con particolare vicinanza all'Accademia di Brera, all'Università Statale ed all'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Nella tabella seguente sono esplicitate le distanze tra la zona in esame ed i vari atenei:

Istituto	**Distanza [km]**
Accademia di Brera	0,45
Università Statale	2,0
Università Cattolica	1,9
Politecnico di Milano (Piola)	4,6
Politecnico di Milano (Bovisa)	4,6
Università Bicocca	5,2
Università Bocconi	3,6

Come si può notare tutti gli istituti si trovano in un raggio massimo di 5 km, con un minimo di 450 m per quanto riguarda l'accademia di Brera.

fig. 3.93 - *PGT Comune di Milano Individuazione istituti di istruzione*

3.5.3 BIBLIOTECHE RIONALI

Una biblioteca è un servizio finalizzato a soddisfare i bisogni informativi (studio, aggiornamento professionale, svago, eccetera) di una utenza finale individuata secondo parametri predefiniti, realizzato sulla base di una raccolta organizzata di supporti delle informazioni, fisici (libri, riviste, CD, DVD, eccetera) o digitali (accessi a basi di dati, riviste elettroniche, eccetera).

Lo sviluppo delle biblioteche si intensifica verso la fine del XVIII secolo e per tutto il XIX secolo, anche per il trasferimento delle collezioni private nelle strutture pubbliche. Nel 1800 viene fondata la Library of Congress di Washington. Ma è a partire dal XX secolo, con la nascita della scienza biblioteconomica, che le biblioteche conoscono una radicale trasformazione, dovuta da una parte al miglioramento dei cataloghi ed all'impulso alla classificazione delle opere, grazie ai contributi di Melvil Dewey (vedi Classificazione decimale Dewey) e di Eugène Morel, e dall'altra alla spinta data alla formazione professionale dei bibliotecari, accompagnata da una più intensa cooperazione tra le biblioteche. In questo periodo si assiste anche alla diversificazione delle attività bibliotecarie, mediante l'organizzazione di mostre, incontri di lettura e conferenze ed il miglioramento dei servizi offerti agli utenti. Lo sviluppo delle biblioteche pubbliche si intensifica in Italia a partire dagli anni 1970, in relazione alla legge n.382/1975 sull'ordinamento delle Regioni che, in attuazione dell'articolo 117 della Costituzione, trasferiva alle Regioni le competenze sulle biblioteche di ente locale e sullo sviluppo della scuola dell'obbligo e della scolarizzazione. Dagli anni 1980 si assiste ad un crescente sviluppo dell'utilizzo del computer per l'informatizzazione dei cataloghi e per la gestione del prestito; oltre ai software gestiti su mainframe la diffusione dei pc favorisce l'automazione di piccole biblioteche[2]. Con lo sviluppo di Internet alla fine degli anni 1990, il servizio si estende anche alla messa a disposizione degli utenti di selezioni tematiche di siti web di qualità ed a molte iniziative di alfabetizzazione su Internet per gli utenti. E successivamente all'avvento della biblioteca digitale.

Si considerano biblioteche tanto le raccolte costituite da privati per uso personale quanto quelle costituite da enti privati e pubblici.

Le 24 biblioteche distribuite nella città si rivolgono ai cittadini di tutte le età con una ricca offerta di servizi gratuiti e risorse aggiornate. Insieme formano il *Sistema Bibliotecario Urbano:* un'unica rete a tanti punti di accesso. Dal centro alla periferia, sono agevolmente raggiungibili con i mezzi pubblici e facilmente accessibili grazie all'apertura diversificata dal lunedì al sabato, con orario continuato. Alcune sedi sono aperte come sala di lettura fino e oltre le 22.00. Caratterizzate da strutture, dimensioni e storie diverse, sono tutte fortemente radicate nel territorio in cui operano e condividono un'identica finalità: essere punti di accesso alle informazioni e al sapere ma anche luoghi di relazioni sociali attive, occasione di intrattenimento e di incontro tra generazioni e culture diverse.

L'accesso, la consultazione in sede e la partecipazione alle attività culturali sono liberi e gratuiti. Il prestito e i servizi web richiedono l'iscrizione al Sistema, gratuita e aperta a tutti.

Le biblioteche offrono:

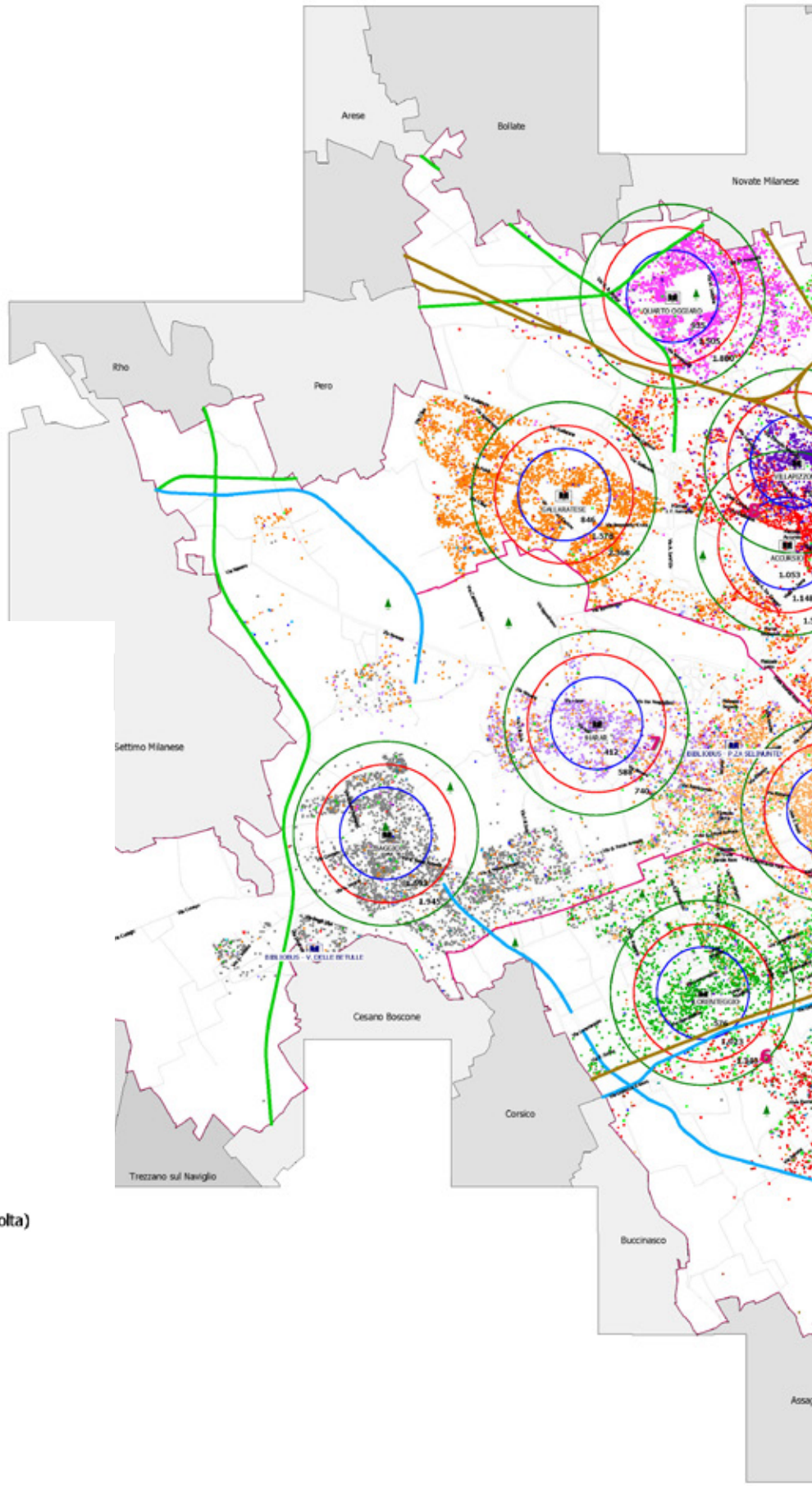
- spazi di lettura e di studio accoglienti e attrezzati;
- patrimonio di libri di narrativa e saggistica, quotidiani e riviste, cd, dvd, audiolibri, ebook;
- accesso a internet, a banche dati, a MediaLibrary per leggere online quotidiani dal mondo, ascoltare musica, guardare film e scaricare ebook;
- servizio di prestito in tutte le sedi e tra tutte le sedi;
- servizio di orientamento, informazioni bibliografiche e sui servizi della città;
- spazi e servizi per bambini e ragazzi ;
- occasioni di incontri culturali.

fig. 3.94 - *PGT Comune di Milano - Biblioteche rionali*

Milano

Comune
di Milano
Settore Statistica

Iscritti



Iscritti
(1 punto= 1 iscritto)

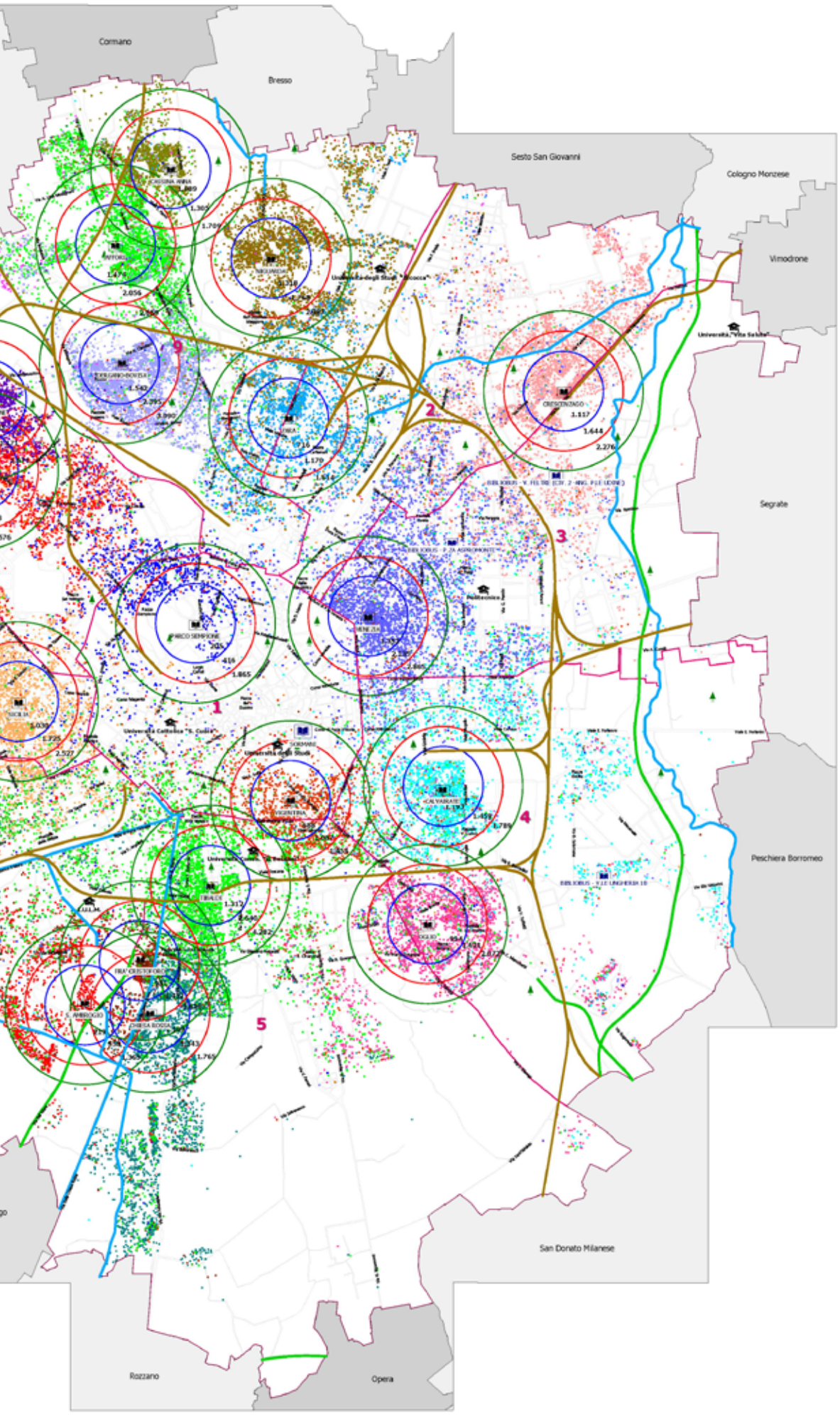
- 2 - Zara
- 8 - Villapizzone
- 1 - Vigentina
- 3 - Venezia
- 5 - Tibaldi
- 7 - Sicilia
- 6 - Sant'Ambrogio
- 8 - Quarto Oggiaro
- 1 - Parco Sempione
- 4 - Oglio
- 9 - Niguarda
- 6 - Lorenteggio
- 7 - Harar
- 8 - Gallaratese
- 5 - Fra Cristoforo
- 9 - Dergano-Bovisa
- 2 - Crescenzago
- 5 - Chiesa Rossa
- 9 - Cassina Anna
- 4 - Calvairate
- 7 - Baggio
- 9 - Affori
- 8 - Accursio

- Biblioteche
- Biblio-Bus (punto di raccolta)
- Sedi Universitarie

- Parchi e/o giardini
- Zone di decentramento
- Strade/Autostrade
- Ferrovie
- Vie d'acqua

- Bacino di 500 m. intorno alla biblioteca
- Bacino di 750 m. intorno alla biblioteca
- Bacino di 1000 m. intorno alla biblioteca

Biblioteche Rionali



novembre 2008

3.5.4 PARCHEGGI

Al seguito delle analisi relative ai servizi di prima necessità, sono stati individuati i parcheggi esistenti intorno a via Palermo. Molto importante, soprattutto nell'ottica di dover favorire uno sviluppo dei mezzi pubblici di trasporto e una parallela riduzione dell'uso di auto e mezzi inquinanti, è la presenza di parcheggi pubblici o privati oppure strutture addette al car-sharing. La volontà di non fornire all'area di progetto un sistema di parcheggi comporta la necessità di considerare la presenza di alcuni punti di supporto.

Anche in questo caso, attraverso lo studio incrociato di strumenti urbanistici, sopralluogo e risorse informatiche si è realizzata la tavola relativa all'*individuazione delle aree destinate a parcheggio*. L'area vicina a via Palermo risulta ben fornita da aree destinate a parcheggio. Si tratta principalmente di parcheggi a pagamento interrati o autosilos, solitamente di proprietà privata. Sono rari parcheggi pubblici in superficie, anch'essi a pagamento. Come per le analisi precedenti, lo strumento urbanistico di riferimento è il PGT, *Piano dei Servizi* [allegato S_02/2D].L'accessibilità all'area di progetto non presenta grossi ostacoli per i mezzi. Dall'anello formato dalle tangenziali nord, est e ovest è facilmente possibile penetrare all'interno della città e raggiungere via Palermo (vedi tavola accessibilità). L'area è facilmente raggiungibile sia coi mezzi pubblici (metro: fermata Moscova, 5 minuti a piedi; tram e bus: fermata a 5 minuti a piedi) sia coi mezzi pesanti per il trasporto di materiale edile. L'area si presenta congestionata dalle auto e dal suo continuo aumento. Più in generale, abbiamo notato come il Comune di Milano intenda andare contro questa tendenza incentivando maggiormente il servizio pubblico di trasporti: treno, metropolitana, tram e bus. L'idea è quella di portare i cittadini ad utilizzare sempre meno le automobili fino a ritenerle un giorno inutili o quasi per chi vive nella metropoli. Una prova tangibile di uesta volontà, è il tentativo di creare la Zona C nel centro storico, accessibilile solo per chi ne ha davvero bisogno. Progettando un edificio in cui risiede una funziona pubblica e di pertinenza del Comune, abbiamo deciso di seguire

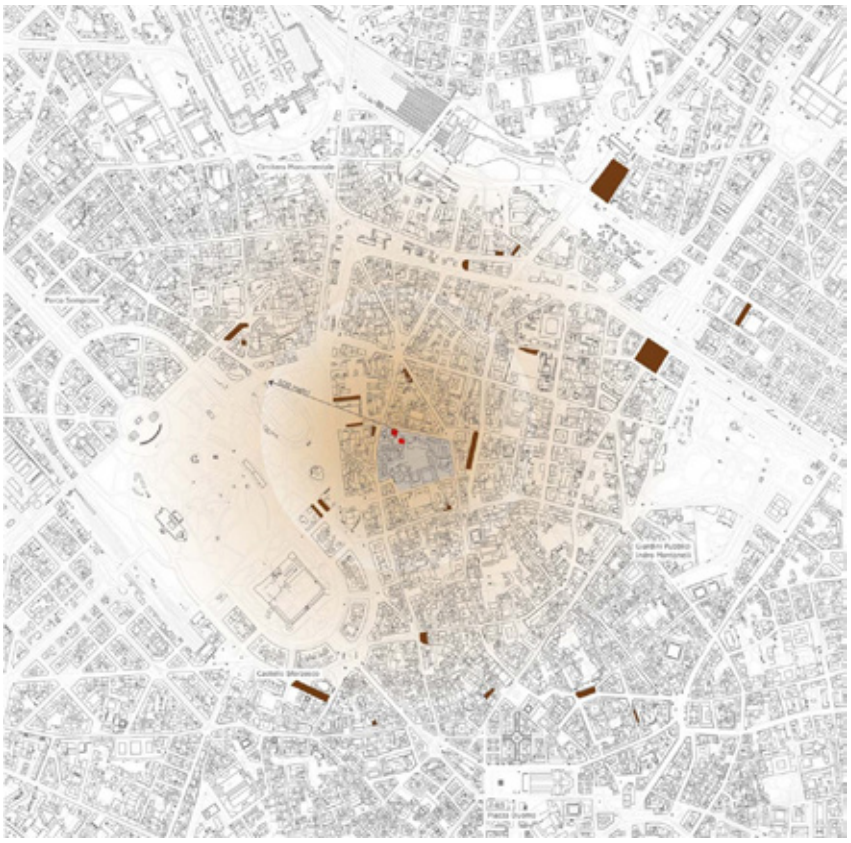


fig. 3.95 - *PGT Comune di Milano Individuazione delle aree destinate a parcheggio*

ed allinearci a questa tendenza. L'obiettivo è quello di togliere le auto dalle strade a dai parcheggi per poter estendere al massimo le aree pedonabili. Si delega così alla progettazione urbanistica generale per il territorio, il compito di trovare spazi ed organizzare gli eventuali servizi di *car sharing*. I cittadini residenti in centro città potrebbero evitare di acquistare le auto e ,qualora fosse necessario, noleggiarle occasionalmente. Abbiamo effettuato dei brevi calcoli per quantificare la spesa per un'auto (acquisto, assicurazione, carburante, manutenzione, noleggio garage...) e abbiamo scoperto che spesso è fortemente diseconomica questa scelta se si vive in centro città e si usa il proprio mezzo per dei viaggi sporadici.

3.5.5 SPAZI VERDI

Ultima, non per importanza, è l'analisi degli spazi verdi che coronano l'area di progetto. Oltre ad un paio di piccoli spazi verdi pubblici, distribuiti nelle immediate vicinanze di via Palermo, nell'arco di 1 Km si trovano altre modeste aree verdi. Fra queste spicca, non per dimensioni, ma per il valore storico e culturale, l'*Orto Botanico di Brera*. Di maggior rilievo, per entità dimensionale e quindi per servizi offerti, sono invece i due grandi polmoni verdi costituiti da Parco Sempione e dai Giardini Pubblici Indro Montanelli. Queste due grandi aree non si configurano solamente come spazi verdi ma bensì come dei veri e propri parchi urbani, in quanto costituiti non solo da verde ma anche da istituzioni milanesi e beni di alto valore storico, culturale ed architettonico. Parco Sempione al suo interno ospita il Castello Sforzesco, l'arena Gianni Brera, l'Arco della Pace, la Triennale di Milano e l'Acquario Civico. I Giardini Pubblici comprendono invece alcuni edifici significativi, tra cui figurano Palazzo Dugnani, il Museo Civico di Storia Naturale e il Planetario Ulrico Hoepli.

Il riferimento urbanistico per l'analisi delle aree verdi è stato individuato all'interno del *Piano dei Servizi* del PGT [allegato S_02/2D] *'individuazione verde pubblico'*

fig. 3.96 - *PGT Comune di Milano Individuazione verde pubblico*

3.6 ANALISI DEL CONTESTO URBANO

3.6.1 INDICI URBANISTICI

Il sito di progetto è ubicato in Via Palermo 19, Milano. Poiché l'area di pertinenza dell'edificio risulta essere pari a 706,67 mq è possibile calcolare i seguenti parametri e indici urbanistici:

- Af — Area di pertinenza dell'edificio = 706,67 mq
- Sf — Superficie coperta = 424,2 mq
- r — Sc/Af = rapporto di copertura = 0,6
- Superficie occupata — 636,3 mq
- Superficie filtrante — 70,67 mq

Tali parametri sono stati valutati in base a quanto esplicitato nell'Art.12 del *Regolamente Edilizio* vigente per il comune di Milano.

Art. 12. (Superficie coperta, occupata, filtrante)

1. *La superficie coperta dalle costruzioni non deve essere superiore al 60% dell'area del lotto di pertinenza.*

2. *La superficie occupata non deve risultare superiore al 90% del lotto di pertinenza nelle zone A e B, all'80% del lotto di pertinenza nelle altre zone omogenee.*

3. *Correlativamente la superficie filtrante non deve risultare inferiore al 10% nella zona omogenea A e nella zona omogenea B, ed al 20% nelle altre zone omogenee. Detta superficie deve avere carattere di continuità e compattezza.*

4. *La superficie filtrante deve essere sistemata a verde o comunque mediante soluzioni filtranti alternative che garantiscano pregio ambientale.*

6. *L'area libera in superficie, eccedente la superficie filtrante, anche se edificata nel sottosuolo e depurata da rampe, accessi, percorsi, corselli ed eventuali parcheggi a raso, deve essere sistemata a verde per una quota non inferiore al 60% della sua estensione, anche mediante fioriere e giardini pensili.*

fig. 3.97 - *Vincoli urbanistici del sito di progetto*

3.6.2 VINCOLI PROGETTUALI

Come detto, poichè l'area di progetto si colloca in una zona centrale di Milano, densamente costruita, i vincoli regolamentati dal comune hanno una forte influenza sulle forme che potrà avere l'edificio. Di seguito verranno esposti i limiti da considerare nell'elaborazione del progetto.

In base alla Tavola N. R.01/2D Ambiti territoriali ed omogenei e all'Allegato 4 Elenco delle " Zone A di recupero " e delle " Zone B di recupero " del PRG del 1980 e relative varianti, in particolare alla Variante 12, contenuti nel Piano delle Regole del PGT vigente del comune di Milano, l'area circostante al sito di progetto risulta essere collocata nella Zona A di recupero V 1.6 (ex zona PRG: B2 1.1 parte).

La variante interessa una porzione del tessuto urbano compresa: a Nord tra le vie Pasubio/Crispi; ad Est tra Piazza XXV Aprile, Corso Garibaldi, Via Marsala, via Mo- scova, Via Statuto, Via Palermo, Largo Treves, Via Solferino; a Sud tra le vie Pon- taccio, Tivoli e foro Bonaparte ed a Ovest tra via Legnano, piazza Lega Lombarda, via di Porta Tenaglia, via Moscova, Largo la Foppa, via Varese, via Crispi, via Volta.

Data la collocazione, è necessario prendere in considerazione un contesto urbano di antica formazione, come individuato dalla Tavola R.04/1 contenuta nel Piano delle Regole del PGT vigente.

In base alle Norme Tecniche di Attuazione del PGT vigente, all' Art. 20 Zone B2 si stabilisce che: " Le Zone omogenee B2 sono destinate ad insediamenti misti residenziali, artigianali, industriali, terziari, commerciali, ad attrezzature pubbliche o di uso pubblico e

fig. 3.98 - *Tavola N. R01/2D, Piano delle Regole PGT di Milano.*

collettivo, nonché a servizi privati. "Tali destinazioni d'uso risul- tano dunque compatibili con quelle indicate dal bando di concorso.

Data la collocazione l'Allegato 5 (Norme di Attuazione delle Zone a di Recupero e delle Zone B di Recupero) del PRG del 1980 e relative varianti con l' Art 18 bis definiscono che nelle Zone A di recupero per le nuove costruzioni l'indice urbanistico di fabbricabilità If deve essere inferiore a 5m3/m2. Inoltre tale documento rimanda alla lettura degli strumenti del PRG 1980 per quanto concerne la cono- scenza dei restanti indici urbanistici.

Nell'Allegato E, contenuto nelle NTA del PRG 1980, sono riportate le seguenti informazioni relativamente agli indici urbanistici:

ZONA A - CS V 1.6 - ZONA B R 1.7- INDICI URBANISTICI E ALTRE PRESCRIZIONI

MODAL. DI INTERVENTO	PCc
N. AMBITO	2
INDIVIDUAZ. AMBITO	Via Palermo 19
TIPOL.*	c
INDICI URBANISTICI***	it [m^3/m^2]
	if [m^3/m^2]
	Slp [m2] 1300+230
UNITA' INTER.**	IN CONFORMITA' AZZ. FUNZIONALE P.R.G.: R
INDICAZIONI AGGIUNTIVE	Ricostruzione edificio demolito. Allineamento dei nuovi edifici lungo via Palermo. Edificio di mq 230 destinato ad attività di interesse collettivo max 1 piano fuoriterra.

In base a tali documenti si sottolinea la necessità di ricostruzione e completa- mento della cortina edilizia e di sistemazione dei fronti relativamente al lotto oggetto di progetto.

Si deduce inoltre la possibilità di costruire un massimo di 5 piani fuori terra ed un solo piano fuori terra per la parte di lotto caratterizzata da una Slp pari a 230 m2, destinato ad attività di interesse collettivo.

Relativamente all'altezza massima costruibile, per la parte di lotto che affaccia lungo via Palermo, per la quale è possibile elevarsi fino a 5 piani fuori terra, si prevede la possibilità di costruire in deroga: cioè allineare la quota di colmo del nuovo edificio alla quota di colmo della costruzione accanto. Nel caso di tetto piano si considera la possibilità di allineare le quote di gronda. Inoltre è consiglia- to, di integrarsi con la cortina edilizia esistente mantenendo la scansione delle facciate data dai piani degli edifici adiacenti.

In base all' Art. 11 del Regolamento Edilizio è possibile ricavare il volume costruibile:

"Il volume delle costruzioni è da ricavarsi convenzionalmente moltiplicando la superficie lorda complessiva di pavimento (S.l.p.) dei singoli piani per l'altezza virtuale dell'interpiano di m. 3,00 indipendentemente dalla sua altezza effettiva. Dunque risulta V pari a 4590 m^3. "

Il bando di concorso prevede inoltre la realizzazione di 2 piani interrati estesi per tutta la superficie del lotto, caratterizzati da un'altezza massima di scavo pari a 9 m. Ulteriori vincoli per quanto riguarda tali piani sono esplicitati dall'Art. 11 del Regolamento Edilizio,

fig. 3.99 - *Tavola N. R04/1, Piano delle Regole PGT di Milano.*

in cui si specifica che i locali sotterranei non possono essere in alcun modo adibiti ad abitazione. Tali spazi, inoltre, sono considerati agibili se:

- altezza e superficie minima utile sono secondo gli indici previsti per le specifi- che destinazioni;
- il vespaio è aerato e alto 0,50 m, il pavimento unito ed impermeabile, i muri protetti efficacemente contro l'umidità del terreno, la resistenza termica con- forme alle disposizioni di legge vigenti in materia, rispetto degli indici di fonoisolamento delle normi vigenti;
- dispongono di aeroilluminazione naturale diretta o condizionamento e illuminazione artificiale;

Inoltre, detti locali possono essere destinati ad usi che comportino permanenza di persone quali: servizi igienici, magazzini di vendita, uffici, mense, cucine per attività ricettive, esercizi pubblici, ambulatori, laboratori artigianali.

Nel caso tali locali non abbiano requisiti sopra esposti, possono essere adibiti a locali accessori quali depositi, archivi, lavanderie e servizi igienici. Se condominiali, i locali seminterrati e sotterranei sono accessibili dal vano scala comune; se privati sono accessibili da scala interna all'unità di pertinenza attraverso disimpegno chiuso, solo nel caso in cui non siano forniti di impianto di riscaldamento.

Sempre in material di vincoli riportati dal Regolamento Edilizio del Comune di Milano, in vigore dal 20 Ottobre 1999, si stabiliscono i seguenti limiti a seconda dei diversi ambiti.

DISTANZE E ALTEZZE: [Rif. Art.27]

- Negli interventi di nuova costruzione la distanza degli edifici dal confine con proprietà di terzi non può essere inferiore a 3 m. Al di sotto di tale distanza, le costruzioni sono ammesse, a condizione che sia dimostrato l'assenso della proprietà asservita, mediante atto legalmente trascritto da prodursi all'Amministrazione a cura del proprietario dominante;
- ove le fronti finestrate o cieche delle nuove costruzioni vengano progettate in maniera tale da fronteggiare, anche parzialmente, fronti finestrate o a loro volta cieche di edifici preesistenti, il corretto rapporto tra fronte della costruzione ed edifici circostanti deve soddisfare la condizione per cui, una retta, inclinata di 60° sul piano orizzontale del pavimento del locale abitabile ubicato nella posizione più sfavorevole rispetto allo spazio sul quale prospetta, condotta sull'asse della finestra di quest'ultimo a partire dal paramento esterno della fronte della costruzione su un piano perpendicolare alla fronte stessa, risulti esterna al profilo degli edifici circostanti, anche di terzi, comprese le sporgenze;
- le altezze dei nuovi fabbricati prospicienti spazi pubblici devono soddisfare la

condizione appena descritte e comunque assicurare il corretto inserimento dell'edificio con il costruito esistente.

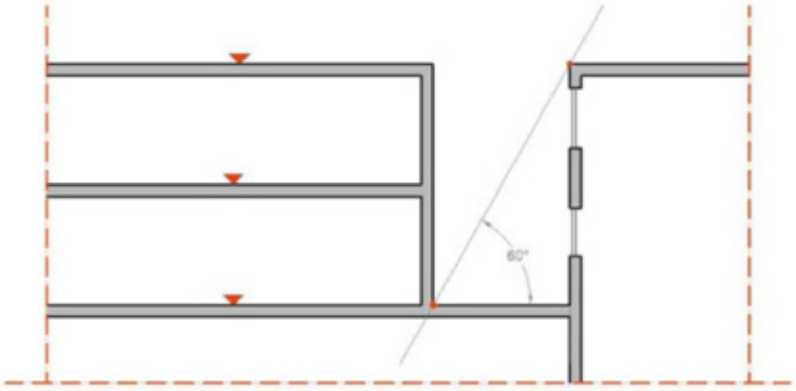


fig. 3.100 - *Metodografico per il calcolo della distanza tra edifici*

EDIFICAZIONE SUL CONFINE: [Rif. Art.28]

E' ammessa l'edificazione a confine di spazi privati nei casi di:

- nuove costruzioni, conformi a previsioni di strumenti esecutivi del PRG;
- nuove costruzioni per le quali sia consentita in confine l'apertura di prospetti di locali abitabili e la realizzazione, anche in aggetto, di fronti architettoniche compiute, a seguito di costituzione di servitù;
- nuove costruzioni anche in aderenza a muri di fabbricati esistenti;

In base a quanto appena detto, si prevede la possibilità di costruire a ridosso del volume interno al lotto, sebbene sia presente una finestra sul fronte Ovest poichè, essa, verrà opportunamente rimossa. Al contrario non risulta possibile rimuovere il cancello dell'area di competenza dell'asilo infantile a Sud del lotto.

DOTAZIONI DELL'EDIFICIO: [Rif. Art.30]

- Le scale che collegano più di due piani, devono essere areate e illuminate direttamente dall'esterno o a mezzo di lucernario con apertura pari almeno a m^2 0,40 per ogni piano servito o mediante finestre di superficie non inferiore a m^2 1 per ogni piano servito;
- l'aggetto sul suolo pubblico di balconi aperti e chiusi, gronde, pensiline, tende solari, insegne e simili è consentito purché le sporgenze siano a un'altezza dal piano viabile tale da non ostacolare il traffico ovvero determinare situazioni di pericolo;
- l'altezza dei parapetti e dei davanzali non può essere inferiore ad 1,10 m, con l'obbligo di realizzare balaustre, unicamente con andamento verticale delle stecche, poste tra loro a non più di 10 cm;
- trasporto verticale delle persone e delle cose, secondo quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di abbattimento delle barriere architettoniche;
- eventuale aerazione forzata.

ALTEZZE MINIME DEI LOCALI: [Rif. Art.34]

- L'altezza media dei locali non deve essere minore di 2,70 m;
- l'altezza media può essere ridotta a 2,40 m nei bagni, nei gabinetti, negli spogliatoi e lavanderie. L'altezza negli altri spazi di servizio quali antibagni, corridoi, disimpegni, ripostigli, cabine armadio può essere ridotta a 2,10 m.

SUPERFICIE DEGLI ALLOGGI E DEGLI AMBIENTI: [Rif. Art.35, Art.36]

Tali vincoli sono stati utilizzati solo per il progetto del concorso, poichè per distinazioni d'uso differenti, si è fatto riferimento alla normativa specifica.

La dimensione degli alloggi è espressa in m^2 di S.l.p. :

- l'alloggio non può avere una superficie utile inferiore a 30 m^2;
- la superficie minima utile degli spazi di abitazione e di servizio non deve risultare inferiore ai valori in tabella:

LOCALE	SUPERFICIE MINIMA UTILE [m^2]
Camera a un letto	9
Camera a due letti	14
Cucina	5
Soggiono	14
Locale studio	7
Serizio igienico	3,50 (lato minimo 1,7 m per alloggi con s.l.p>70 m2)
Seconod servizio igienico	2 (lato minimo 1,2 m)

- gli alloggi devono essere dotati almeno di uno spazio di cottura e di un servizio igienico nelle nuove costruzioni con tazza wc e lavabo sospesi.

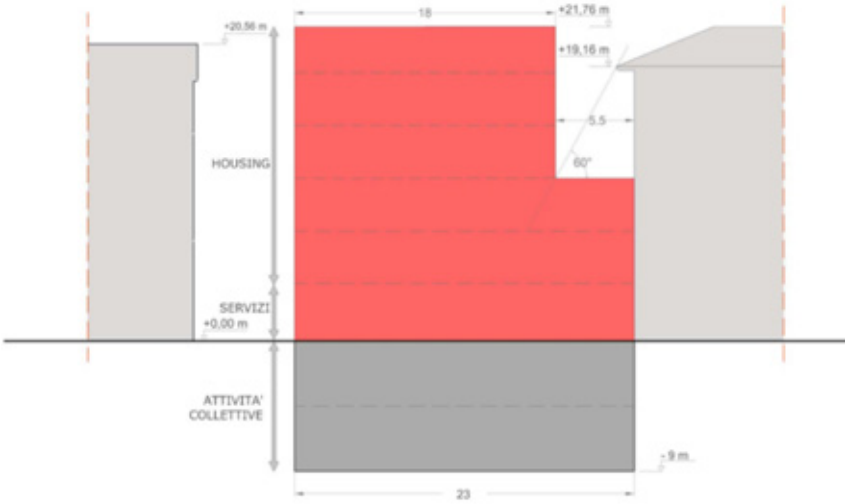


fig. 3.101 - *Schema delle dimensioni massime di progetto: prospetto nord.*

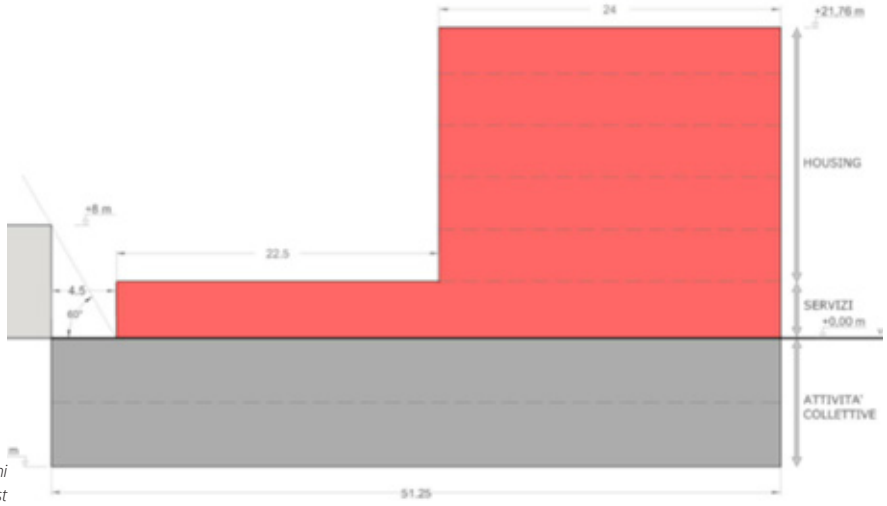


fig. 3.102 - *Schema delle dimensioni massime di progetto: prospetto est*

REQUISITI ILLUMINOTECNICI: [Rif. Art.43, Art.44]

- L'illuminazione diurna dei locali deve essere naturale e diretta tranne nel caso di uffici e attività produttive con regolare rapporto areoilluminante ma profondità rilevante, spazi pubblici, culturali o ricreativi disimpegni e scale, cinema teatri e simili;
- l'area complessiva delle parti trasparenti misurate come sopra non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento considerando le opportune detrazioni di superfice vetrata;

Infine in base alla Tavola R.06/D *"Vincoli di tutela e salvaguardia"* contenuta all'interno del Piano delle Regole del PGT vigente l'area di progetto risulta essere collocata all'interno della Zona B di rischio archeologico. Da tale documento si osserva inoltre il passaggio di una strada storica accanto al lotto di progetto.

Riguardo tali vincoli il Regolamento Edilizione del Comune di Milano in vigore dal 20 Ottobre 1999 stabilisce alcuni vincoli che però non riguardano direttamente la progettazione, quanto la fase di esecuzione nel caso di eventuali ritrovamenti di resti.

MILANO

sociale e culturale

capitolo 04

4.1 ANALISI SOCIALE, CULTURALE E COMMERCIALE

4.1.1 SERVIZI SOCIO/CULTURALI

Per identificare la tipologia di servizi che potrebbero meglio soddisfare le necessità degli abitanti e dei fruitori della zona in cui si trova l'area di progetto, abbiamo eseguito un'analisi sociale che ci ha portato a considerare in primo luogo tutti i servizi e i luoghi di aggregazione in ambito culturale.

Primo passo di questa analisi è stato il rilievo di un'area del raggio di 2 Km e la restituzione sull'aerofotogrammetrico della città di Milano in scala 1:2000 della posizione dei servizi secondo la seguente suddivisione

Luoghi di aggregazione a sfondo culturale

- musei e fondazioni
- associazioni
- sociale
- gallerie d'arte
- luoghi di culto

Luoghi d'istruzione

- scuole e istituti
- università
- biblioteche
- autoscuole
- ospedali
- luoghi di culto

Spettacolo

- teatri
- cinema

In secondo luogo sono state tracciate tre aree circolari concentriche, centrate sul lotto, a rappresentare la distanza di percorrenza pedonale dalla futura edificazione ai vari servizi per favorire l'analisi quantitativa delle attività facilmente fruibili e di quelle scarsamente presenti. Le circonferenze così tracciate indicano il tempo necessario a percorrere le distanze a passo lento e rappresentano in crescendo 5 minuti, 10 minuti e 15 minuti (nel raggio di circa 2 Km).

Area 1

L'impronta socioculturale della zona in cui andiamo ad operare si nota già nella prima area di percorrenza all'interno della quale compare almeno un servizio per ogni macro gruppo. Importante notare la presenza di un gran numero di gallerie d'arte, motivate sicuramente dalla vicinanza dell'Accademia delle Belle Arti. È inoltre presente anche il primo di molti luoghi di culto, la cui rilevanza è però particolare in quanto collegata ad un seminario.

Area 2

La seconda zona completa già quasi per intero la lista dei servizi disponibili nelle vicinanze del lotto, comprende infatti, oltre a numerose chiese e a 5 istituti scolastici, tra medie e secondarie superiori, la fondamentale presenza dell'Accademia delle Belle Arti di Brera che da sola può essere considerata decisiva nella connotazione artistica della zona. Molto

rilevante anche la presenza dello storico teatro Strehler, situato a sud est del lotto, primo teatro fisso in Italia, detto anche Piccolo Teatro.

A Est del lotto, subito fuori dall'area dei cinque minuti, troviamo poi l'arena civica Giovanni Brera, mentre poco più a Sud una presenza ancora più rilevante è quella del castello Sforzesco e del foro Bonaparte, architetture di notevole importanza storica

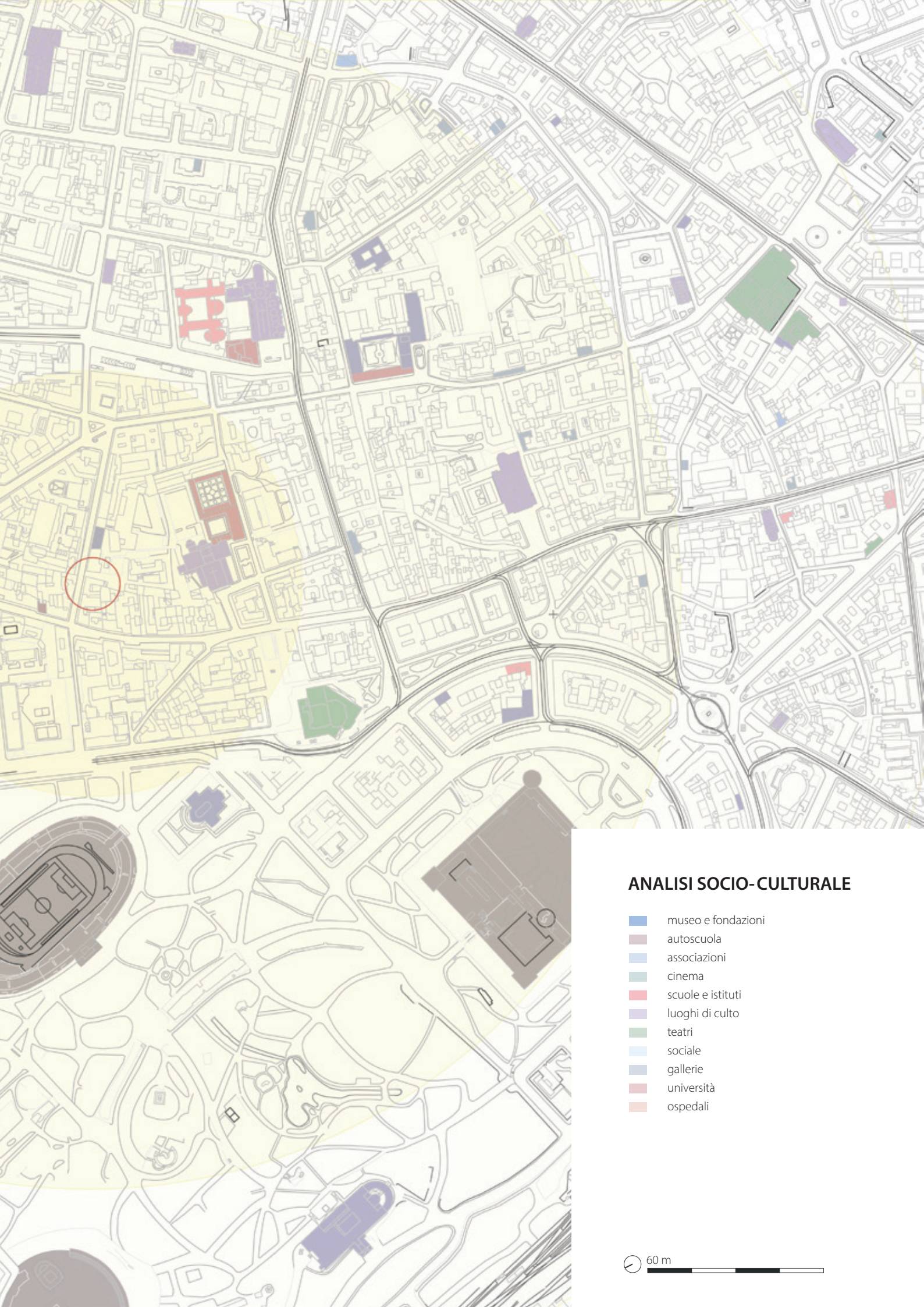
Area 3

Quest'area conferma l'indirizzo prevalentemente artistico che caratterizza la zona a partire dai diversi teatri presenti nella parte Sud, tra i quali è facilmente raggiungibile l'importante teatro alla Scala a poco più di 1 chilometro dal lotto. Si riscontra anche la presenza di molte scuole secondarie superiori tra cui un liceo artistico. Aumenta il numero delle zone espositive e delle fondazioni con la sede della triennale di Milano e il suo parco in direzione Sud-Est. L'analisi si può concludere sottolineando la presenza di altre architettura caratterizzate da un importante connotazione culturale, tra cui forse la più importante è il cimitero monumentale localizzato al limite dell'area Nord. Anche se non rientra all'interno dell'area che delimita i 15 minuti, va segnalata la presenza a Sud del Duomo di Milano.

Considerando la caratteristica monotematica dell'analisi fin qui condotta, non si può escludere la possibilità di realizzare all'interno del lotto una o più aree comuni destinate ad attività che esulino dall'ambito artistico culturale.

Attività culturali ricollegabili carenti

- info-point per la città
- atelier pubblico
- studio di incisione
- bilioteche
- servizi per bambini
- sale prova
- zona recitazione
- lavoratori di scultura
- luoghi per piccole performance artistiche



ANALISI SOCIO-CULTURALE

- museo e fondazioni
- autoscuola
- associazioni
- cinema
- scuole e istituti
- luoghi di culto
- teatri
- sociale
- gallerie
- università
- ospedali

60 m

4.1.2 EVENTI SOCIALI

EXPO 2015

L'Expo 2015 (ufficialmente Esposizione Universale Milano 2015, Italia, Italy) avrà luogo a Milano tra il 1º maggio e il 31 ottobre 2015. Expo Milano 2015 è organizzata da Expo 2015 S.p.A., società costituita dal Governo Italiano, dalla Regione Lombardia, dalla Provincia di Milano, dal Comune di Milano e dalla Camera di Commercio di Milano.

Il tema proposto per la Expo è Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita, e vuole includere tutto ciò che riguarda l'alimentazione, dal problema della mancanza di cibo per alcune zone del mondo, a quello dell'educazione alimentare, fino alle tematiche legate agli OGM.

Milano è stata già sede dell'Esposizione Internazionale nel 1906 con il tema dei Trasporti.

Si calcola che:

- L'evento porterà a oltre 20 miliardi di euro d'investimento in infrastrutture. Di questi 4,2 miliardi di euro saranno diretti, i rimanenti 14 indiretti
- Nel periodo 2010-2015 verranno creati 70.000 posti di lavoro
- Nei 6 mesi dell'Expo si stima che arriveranno 20 milioni di visitatori, per una media giornaliera di 160.000 visitatori
- Sono attesi circa 150 paesi espositori
- Nell'arco dei 6 mesi dell'Expo verranno organizzati 7.000 eventi per la cui realizzazione saranno richiesti 892 milioni di euro
- Il fatturato del mondo imprenditoriale milanese aumenterà di 44 miliardi di euro, pari ad un incremento del 10%
- Verranno creati 11 km^2 di spazio verde
- L'evento comporterà circa 3 miliardi di investimenti tra fondi pubblici, partecipazione dei privati e Partecipanti ufficiali

TEMA

Il tema scelto per la Esposizione Universale di Milano 2015 è Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita. Saranno chiamate in causa le tecnologie, l'innovazione, la cultura, le tradizioni e la creatività legati al settore dell'alimentazione e del cibo. L'asse principale è il diritto ad una alimentazione sana, sicura e sufficiente per tutti gli abitanti della Terra. La preoccupazione per la qualità del cibo in un mondo sempre più popolato (si calcola che nel 2050 gli abitanti della Terra saranno 9 miliardi) si accompagna a scenari di un aumento dei rischi per la quantità globale dei cibi disponibili.

Alcuni dei temi principali che ruoteranno attorno alla Expo sono:

- Rafforzare la qualità e la sicurezza dell'alimentazione, cioè la sicurezza di avere cibo a sufficienza per vivere e la certezza di consumare cibo sano e acqua potabile
- Assicurare un'alimentazione sana e di qualità a tutti gli esseri umani per eliminare fame, sete, mortalità infantile e malnutrizione
- Prevenire le nuove grandi malattie sociali della nostra epoca, dall'obesità alle patologie cardiovascolari, dai tumori alle epidemie più diffuse, valorizzando le pratiche che permettono la soluzione di queste malattie
- Innovare con la ricerca, la tecnologia e l'impresa l'intera filiera alimentare, per migliorare le caratteristiche nutritive dei prodotti, la loro conservazione e distribuzione
- Educare a una corretta alimentazione per favorire nuovi stili di vita in particolare per i bambini, gli adolescenti, i diversamente abili e gli anziani
- Valorizzare la conoscenza delle 'tradizioni alimentari' come elementi culturali ed etnici
- Preservare la bio-diversità, rispettare l'ambiente in quanto eco-sistema dell'agricoltura, tutelare la qualità e la sicurezza del cibo, educare alla nutrizione per la salute e il benessere della Persona

- Individuare strumenti migliori di controllo e di innovazione, a partire dalle biotecnologie che non rappresentano una minaccia per l'ambiente e la salute, per garantire la disponibilità di cibo nutriente e sano e di acqua potabile e per l'irrigazione
- Assicurare nuove fonti alimentari nelle aree del mondo dove l'agricoltura non è sviluppata o è minacciata dalla desertificazione dei terreni e delle foreste, delle siccità e dalle carestie, dall'impoverimento ittico dei fiumi e dei mari

SITO

Il 26 aprile 2010 è stato presentato ufficialmente il Masterplan 2010 di Expo 2015. Il sito espositivo è stato disegnato da progettisti senior e da giovani neolaureati della Società Expo 2015 S.p.A., con il supporto di architetti di fama internazionale come Stefano Boeri, Ricky Burdett e Jacques Herzog.

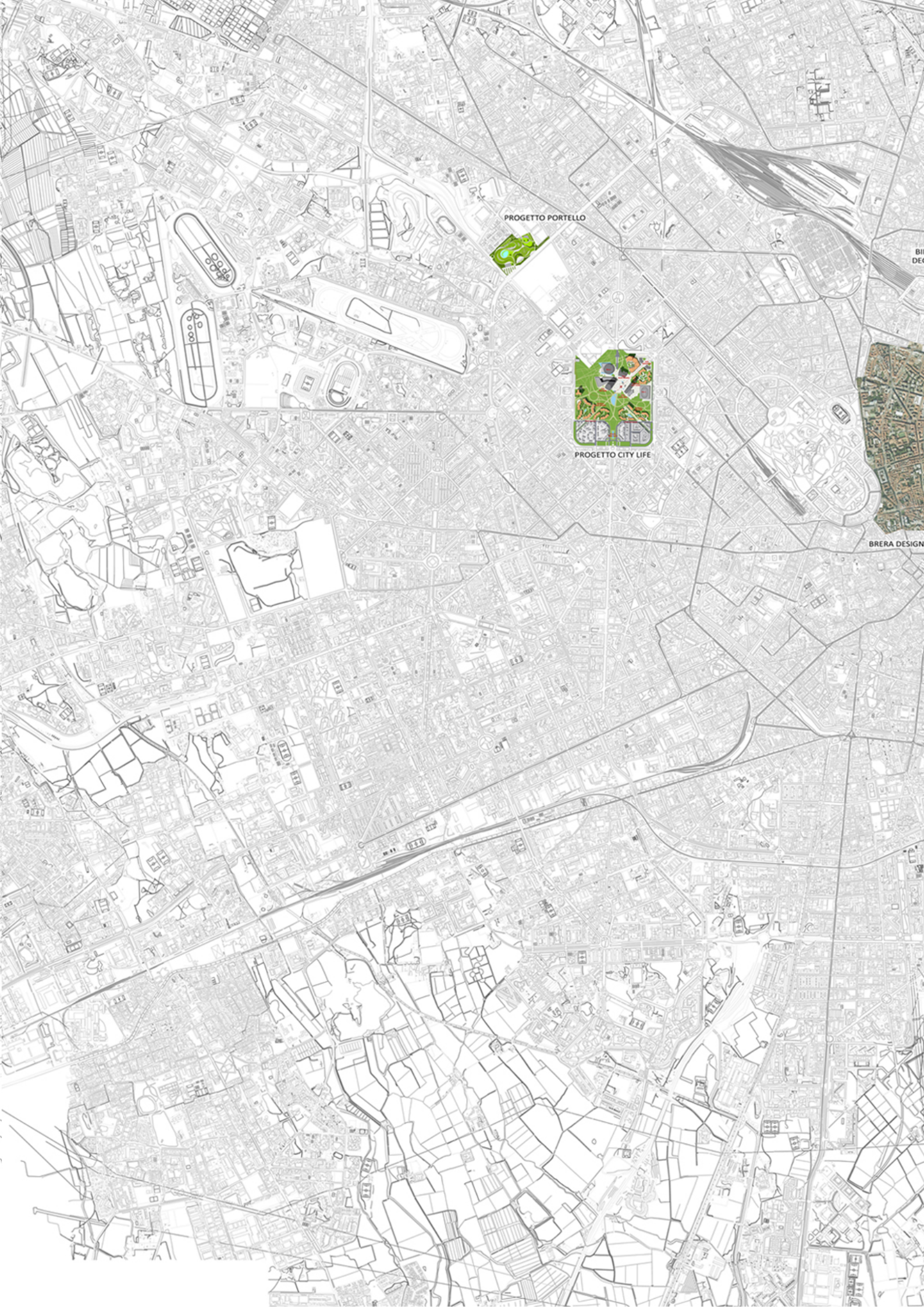
L'area scelta per l'evento è nel settore nord-ovest di Milano, nei comuni di Rho e Pero, occupa una superficie di 110 ettari adiacente al nuovo polo espositivo di Fiera Milano. La zona era occupata un tempo da impianti di produzione industriale ed è stata poi adibita sia a destinazione agricola sia per impianti di natura logistica e per servizi comunali. Una parte della fiera verrà utilizzata come area espositiva e verrà unita da un collegamento pedonale, adiacente alla stazione TAV di Rho-Pero.

L'area espositiva è organizzata come un'isola circondata da un canale d'acqua ed è strutturata secondo i due assi perpendicolari della World Avenue (decumano) e del cardo, ripresi dall'architettura delle città romane. Secondo un principio di uguaglianza, tutti i padiglioni nazionali saranno affacciati sul grande viale principale, lungo 1.5 km e largo 35 metri. Lungo il cardo, 325 metri di lunghezza per 35 metri di larghezza verranno invece organizzati i padiglioni delle Regioni e Province italiane. Alla confluenza dei due assi verrà creata una grande piazza (Piazza Italia) di 4.350 m^2. A nord del cardo sorgerà il Palazzo Italia, ovvero il padiglione del Paese organizzatore, affacciato sulla Lake Arena, un lago-arena di 98 metri di diametro. A lato sud invece un Open Air Theatre da circa 10.000 m^2 per un totale di circa 9.000 posti. Agli estremi del decumano invece verranno costruiti una grande collina artificiale da un lato e l'Expo Center dall'altro, formato da tre blocchi funzionali indipendenti: auditorium (blocco sud), performance area (blocco centrale) e palazzo uffici (blocco nord), per un totale di circa 6.300 m^2. I primi due blocchi sono progettati per essere smantellati alla chiusura dell'Expo, mentre il palazzo uffici sarà permanente. Il sito sarà inoltre caratterizzato dalla riproduzione di agro-ecosistemi grazie a grandi serre da 27.900 m^2 e da una collina artificiale da circa 82.800 metri cubi di volume.

I lotti espositivi saranno così suddivisi:

- 69 lotti nazionali
- 9 lotti cluster
- 6 lotti per regioni internazionali

Il sito sarà collegato alla città dalla Via d'Acqua, un progetto che prevede la riqualificazione della Darsena e di tratti del Naviglio per poter collegare il centro città alla Expo. Partendo dalla Darsena cittadina, passando per il Parco delle Cave, le vie d'acqua saranno affiancate da percorsi ciclopedonali.


PROGETTO PORTELLO
PROGETTO CITY LIFE
BRERA DESIGN

Premio _ COMPASSO VOLANTE 2012
ETTORE ZAMBELLI

ANALISI PRELIMINARI _ EVENTI SOCIALI

1050 m

L'ORTO BOTANICO DI BRERA

Museo Astronomico e Orto Botanico di Brera

capitolo 05

5.1 ORTO BOTANICO DI BRERA

fig. 5.103 - *Rete degli Orti Botanici della Lombardia, logo*

"Un fazzoletto di verde nel centro di Milano, confina- to tra antiche mura e palazzi, dove tra splendidi fiori e colossi centenari si può andare indietro nel tempo e dimenticare il caos della metropoli"

Claudio Longo

L'Orto Botanico, di circa 5000 m², situato all'interno del celebre palazzo di Brera, è un'incantevole e suggestiva isola verde nel pieno centro di Milano. Giardino storico e splendido museo all'aperto, l'Orto Botanico oggi è un luogo ideale per imparare a conoscere la natura, scoprendo uno spettacolo diverso in ogni stagione. L'oasi verde che si svela è una vera sorpresa, un giardino popolato da alberi tutti da scoprire nel percorso botanico proposto e intriso di storia che attraverso le vestigia architettoniche si racconta: le vasche ellittiche settecentesche, la specola che custodiva uno Strumento dei Passaggi (1870) e le aiole in mattoni originali oggi restaurate. Vi si trovano alcuni alberi molto grandi, tra cui due monumentali esemplari di Ginkgo biloba risalenti ai tempi della fondazione tra i più antichi in Europa.

L'ingresso è da via Brera 28, attraversando il cortile del Palazzo e gli enormi corridoi dell'Accademia, oppure direttamente da via Fiori oscuri 4, costeggiando il retro dello storico edificio.

Nell'Orto Botanico di Brera tra le diverse centinaia di specie presenti, è possibile osservare alcune collezioni a disposizione dei visitatori:

- l'aiola delle piante officinali
- le aiole del genere Salvia
- l'Orto di ortaggi
- la fioritura in primavera di migliaia di bulbi
- la collezione di Peonie e Aquilegie

L'Orto Botanico di Brera fa parte del Museo Astronomico-Orto Botanico di Brera, un museo gestito dall'Università degli Studi di Milano. Scopo del museo è la salvaguardia del patrimonio storico-scientifico e storico-naturalistico di Palazzo Brera, che l'Università degli Studi di Milano ha messo in atto sin dagli inizi degli ani '80 del '900 promuovendo e realizzando progetti e iniziative di recupero e salvaguardia. Esse sono finalizzate non solo alla conservazione del bene storico ma anche ala diffusione della cultura scientifica. Per questo motivo sia l'orto Botanico che il Museo Astronomico accolgono ogni giorno scolaresche e gruppi di adulti coinvolti in itinerari si "Storia e Scienza a Brera". Nell'Orto Botanico, inoltre, da qualche anno opera quotidianamente una sezione didattica del Comune di Milano che promuove attività rivolte agli studenti delle scuole dell'obbligo. Dopo un lunghissimo periodo di incuria e degrado, l'Orto è attualmente in fase di restauro. Si tratta di un restauro conservativo, rispettoso dell'impianto originario e delle "stratificazioni" di epoche successive.

Oggigiorno si presentano ancora notevoli due antichi ginkgo, un tiglio alto 40 metri, un noce del Caucaso col tronco grosso come un baobab, un noce americano dalla forma perfetta… Questa prevalenza di alberi in un piccolo spazio urbano fra i palazzi del centro storico dà all'Orto il carattere di un aristocratico giardino.

L'aspetto storico è accentuato dal silenzio: non si sente il traffico, arriva solo il suono delle campane.

Le finestre del Parini davano sull'Orto e altrettanto quelle di Schiaparelli, lo scopritore dei canali di Marte. E' possibile (non certificato, solo possibile) che il divino Mozart abbia passeggiato nei vialetti fra le aiole… Allo stesso tempo i numerosi alberi conferiscono all'Orto un certo carattere "selvatico" che si fonde perfettamente col carattere "antico".

5.1.1 CENNI STORICI

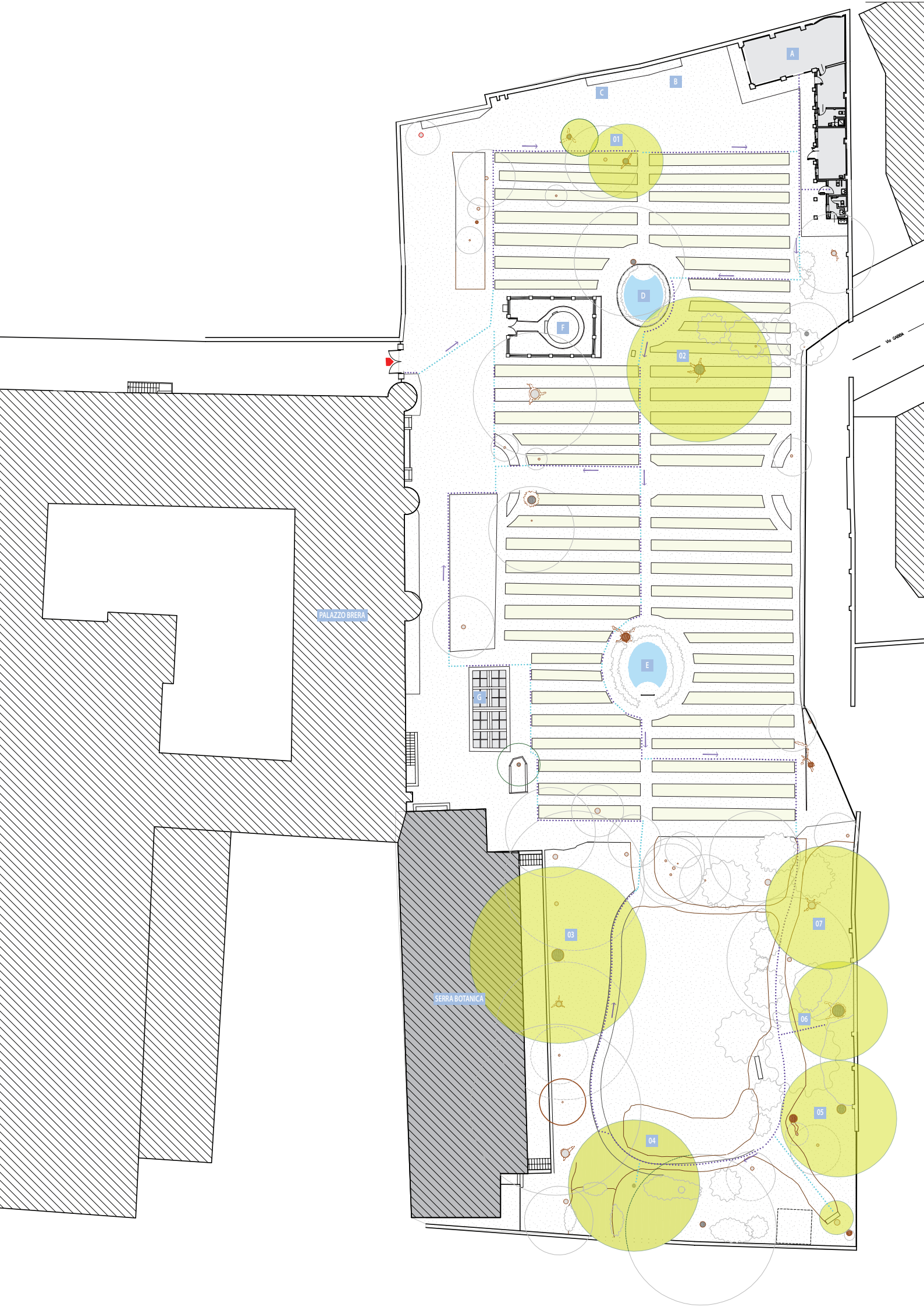
La creazione di un vero e proprio "Orto Botanico" avvenne nel 1774, dopo lo scioglimento dell'Ordine dei Gesuiti e il passaggio del loro Collegio in mano pubblica. Sebbene in Palazzo Brera sia stato sempre presente uno spazio dedicato, a seconda delle esigenze e dei periodi, al giardinaggio, all'orticolutra, alla coltivazione di piante medicinali, al raccoglimento e alla contemplazione, la creazione di un vero "Orto Botanico" avvenne nel 1774 per volere di Maria Teresa d'Austria. Negli anni, nello spazio dove sorgerà l'Orto botanico, erano cresciute piante di alto fusto che ombreggiavano il terreno e rendevano difficile la coltivazione di altre specie. Lo spazio inoltre era circondato da alte mura ed edifici che rendevano difficile la sua trasformazione. Il progetto dell'Orto comportò l'eliminazione degli alberi esistenti, l'innalzamento del livello con nuova terra e la costruzione di una serra. L'orto nacque come "Hortus Œcomomicus" in analogia a quello del Collegium Theresianum di Vienna. Si privilegiò l'aspetto didattico e formativo rispetto a quello ostensivo di specie rare o esotiche. Il responsabile dell'orto doveva insegnare la Botanica agli allievi del Ginnasio di Brera. L'Orto doveva inoltre fornire piante officinali per la "Spezieria" di Brera. Il progetto fu affidato a Padre Fulgenzio Vitman che aveva già progettato un ampio Orto Universitario a Pavia (FOTO). Il giardino era diviso in tre grandi aree: una destinata ad aiuole per ogni tipo di piante e secondo la classificazione del Linneo, la seconda destinata ad arboreto e la terza alle serre. Il progetto di queste ultime fu certamente discusso con Piermarini.

Le serre, ricavate in uno stanzone già edificato, erano suddivise in cinque parti: la serra fredda, la serra calda, il forno con il deposito di legna, una parte parzialmente riscaldata dai tubi che l'attraversavano e infine una parte per il ricovero invernale dei vasi. Era prevista infine una serra bassa per il germoglio di semi provenienti da paesi caldi. Due vasche ellittiche fornivano acqua al complesso. Con l'avvento dei francesi fu fatto il tentativo di cambiare parzialmente la destinazione dell'orto. Mentre nel periodo austriaco le finalità dell'Orto erano essenzialmente didattiche, in quello francese erano state avanzate alte esigenze, come quelle di farlo diventare un luogo di ritrovo per la cittadinanza e dotarlo di piante esotiche ornamentali. Alla caduta di Napoleone, nel 1814, e col ritorno degli austriaci, non vi furono grandi cambiamenti come pure fino al 1935 quando L'Orto fu aggregato all'Istituto Superiore di Agricoltura che, alle dipendenze del Ministero dell'Agricoltura e Foreste della sua origine , era passato al Ministero della Pubblica Istruzione e diventato poi facoltà Universitaria, nell'ambito dell'Università degli Studi di Milano. La cattedra di Botanica divenne Istituto ed Orto Botanico della Facoltà di Agraria. Passato poi al Dipartimento di Biologia, L'Orto fa parte dal 2005, del Museo Atronomico-Orto Botanico di Brera, un museo universitario riconosciuto dalla regione Lombardia.

(tratto da P. Tucci "Il Museo Astronomico e l'Orto Botanico di Brera in Milano Annali si storia delle università italiane 2007 II: 251-259)

Interventi del Piermarini: lavori, sistemazioni e programmi in Brera tra 1775 e 1778

Dopo la decisione di sistemare l'Accademia di Belle Arti al piano terra, le discussioni tra Milano e Vienna furono molto complesse, protraendosi ben oltre quella data, conseguenza anche di una diversa valutazione dei programmi di Istruzione pubblica fatta nelle due capitali. Milano, pur non parlando più con chiarezza di un Istituto per le scienze e le arti, cercava di realizzare ugualmente un organismo il più possibile polivalente, con i diversi istituti previsti in esso ben attrezzati e realizzati col maggio lustro possibile e senza che nessuno di essi prendesse il sopravvento sugli altri. Preoccupati di aumentare il prestigio della loro capitale i milanesi volevano programmare il completamento monumentale di Brera e disporre in esso con cura i vari insegnamenti, tenendo conto delle esigenze delle singole discipline. Per questo Piermarini, incaricato di occuparsi dei lavori del palazzo, ponderava bene le esigenze pratiche di ogni singolo istituto prima di trovare e


A
B
C
01
D
F
02
PALAZZO BRERA
E
G
SERRA BOTANICA
03
07
06
05
04

decidere le soluzioni adeguate. Proprio pensando a una grande organizzazione tecnico-scientifica, Piermarini si impegnò nella riorganizzazione di Brera disegnando nuove torri all'Osservatorio astronomico, preparando planimetrie e disegni di serre per l'Orto Botanico, raddoppiando la capienza della Biblioteca gesuitica e scegliendo un numero sufficiente di aule per l'Accademia di Belle Arti, per le Scienze e le Manifatture.

Proprio dalla funzionalità dell'edificio all'interno della sua poliedrica destinazione doveva derivare al Palazzo di Brera il massimo "decoro", che l'avrebbe imposto all'attenzione della città. Ma Kaunitz (Wenzel Anton von Kaunitz-Rietberg, diplomatico e politico austriaco), che pur era sensibile alla possibilità di utilizzare Brera per aumentare la prosperità e il prestigio della capitale lombarda, tendeva a non far coincidere strettamente i due termini di utilità e decoro, o per lo meno a non applicare a tutte le istituzioni presenti in Brera gli stessi criteri di magnificenza.

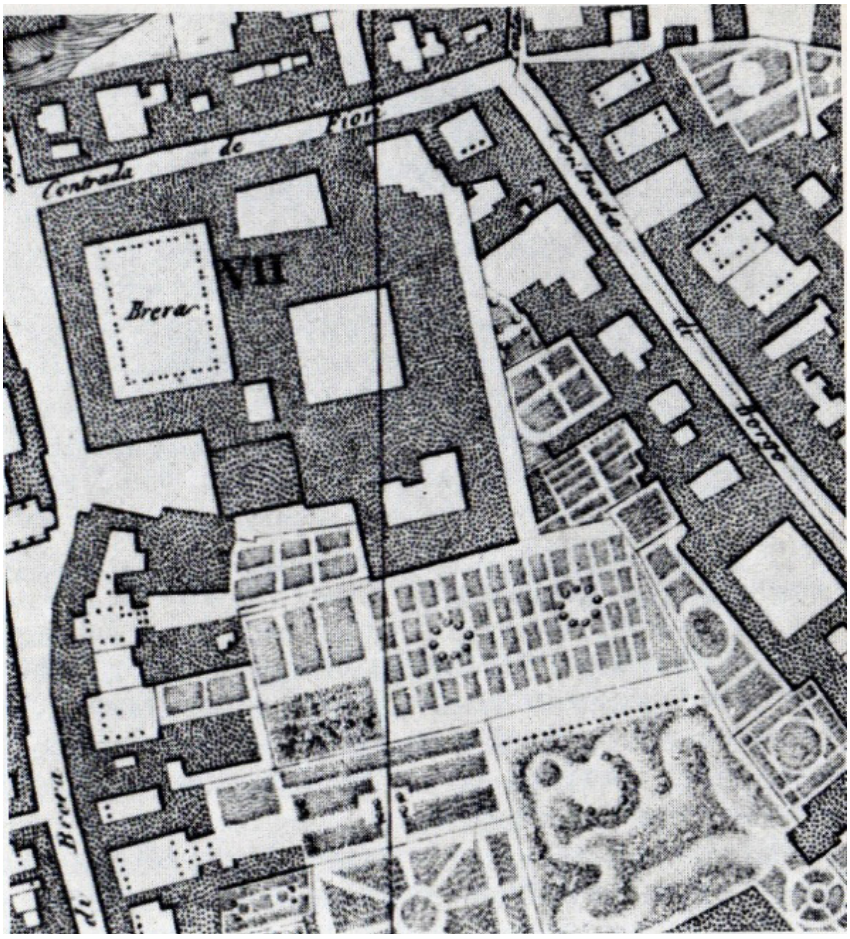


fig. 5.104 - *"Particolare della Pianta di Milano redatta dagli Astronomi di Brera", 1807*

Milano, Raccolta Bertarelli

Fra tutti gli stabilimenti egli puntava in particolare sulla Biblioteca, che desiderava ampia e magnifica, forse simile a quella imperiale di Vienna, che, oltre ad essere sontuoso ambiente legato al palazzo di corte, era anche un eccellente monumento pubblico, polo monumentale e parete di una pubblica piazza, motivi per cui il Kaunitz preferiva stanziare la nuova Biblioteca lungo il lato sud della corte, prospiciente lungo la piazza pubblica di Brera sulla quale affacciava anche la vecchia chiesa.

La prima sistemazione statale e laica delle scuole braidensi fu così il frutto di lunghe contrattazione e scambi di vedute fra le due cancellerie.

I disegni di massima elaborati dal Piermarini per la distribuzione interna del Collegio di Brera erano pronti nel dicembre del 1774, quando furono inviati da Firmian a Vienna con una lettera d'accompagnamento: Piermarini vi aveva indicato le aule da lui scelte

fig. 5.105 - *Planimetria generale dell'Orto Botanico di Brera*

Con alberi e cespugli:
01 Bagolaro [celtis ausrtalis]
02 Tiglio [Tilia tomentosa]
03 Noce del Caucaso [Pterocarya fraxinifolia]
04 Firmiana [Firmiana simplex]
05-06 Ginko biloba [femmina e maschio]
07 Ippocastano nano [Aesculus parviflora]

...e con manufatti:
A Aula
B Antica vasca
C Pompa
D, E vasche settecentesche
F Piccola specola
G L'orto nell'orto

a pianterreno per la sistemazione dell'Accademia e vi aveva illustrato il suo progetto di costruire una nuova aula per la Biblioteca di posizione tale da richiedere la parziale demolizione del coro di S. Maria di Brera. Il plenipotenziario precisava d'approvare tale demolizione perché, secondo un giudizio del resto allora abbastanza diffuso, *"la medesima è di cattiva architettura gotica e molto più grande che non abbisogna per contenere tutta la scolaresca, la quale vi capirà assai comodamente anche quando se ne sarà levata una porzione"*[xx] I piani, seppure non respinti in blocco dal Kaunitz, furono però sottoposti ad una accurata e completa critica che, di fatto, si tradusse in una serie di osservazione tale da indurre Piermarini a rivedere i suoi progetti in conformità ai desideri del Cancelliere.

Kaunitz sosteneva innanzitutto che a Brera la Biblioteca doveva essere *"la parte di qui innanzi primaria, e la più importante di tutto il corpo di fabbrica. Di fatti i forestieri vi anderanno per vedere la Biblioteca, e non già le Scuole, le quali altresì non sono che annesse al medesimo. L'invito il più magnifico e il più comodo alla Biblioteca, dovrebbe essere il superbo Scalone del Collegio, e condurre immediatamente alla porta di essa"*[xx].

Nei progetti del Piermarini egli vedeva invece una proposta non confacente a questi suoi desideri, perché la nuova biblioteca era da costituirsi adiacente alla vecchia, di cui anzi ripeteva la forma, ma in area molto interna all'edificio, cioè continuando verso meridione la fabbrica della Biblioteca Gesuitica. Ora se egli non aveva dubbi *"che la continuazione del vaso della presente libreria la renderà maestosa, e nello stesso tempo, capace a contenere tutti i libri della Pertusati"*, l'ingresso previsto non per mezzo dello scalone grande del collegio, ma per una scala più interna, raggiungibile percorrendo lunghi corridoi, non gli tornava affatto gradito, evocandogli l'impressione di un *"chiostro fratesco"*.

In nome della dignità e maestosità che riteneva attributi indispensabili a una pubblica biblioteca, Kaunitz formulava la sua proposta alternativa, affermando di averla già trasmessa a Firmian il 23 agosto 1774 e di cui dubitava che l'architetto, avendone avuto notizia, potesse averla trascurata. Per il Cancelliere imperiale: *"Alla testa del suddetto gran Salone [della Biblioteca] si vede una gran Porta che conduce ad un corridore, e ad una filata di Camere vicine alla vecchia Biblioteca. Bastava in senso mio togliere le divisioni di dette Camere, e di queste col Corridore formare un sol vaso, che presso a poco lungo, come la libreria vecchia, l'avrebbe incontrata talmente, che mediante un piccolo artifizio da me indicato, sarebbevi stata tutta la simmetria e la porta si trovava appunto nel mezzo d'uno dei piccoli lati della nuova Biblioteca."* Questa soluzione avrebbe reso possibile l'accesso alla Biblioteca dello scalone grande, accesso che in ogni caso era indispensabile, qualunque fosse il progetto finale della costruzione.

La circostanziata proposta del Kaunitz divenne vincolante per l'architetto, poiché corrisponde a quanto da lui realizzato ed a quanto è previsto. Piermarini adottò probabilmente anche l'artificio suggerito per l'incontro dei vani, accompagnando alla porta di comunicazione fra la vecchia e la nuova biblioteca (porta collocata asimmetricamente) una seconda finta porta tale da salvaguardare l'euritmia delle aperture.

I lavori alla Biblioteca iniziarono nel 1775 anche se, lievitando i costi nel corso della costruzione e dovendo continuamente lavorare non in un'area sgombra, ma nel cuore stesso dell'edificio, essi si trascinarono per due o tre anni restando poi ancora da compiere tutti i lavori di arredamento32. Nel corso della stesura dei progetti per la Biblioteca tra 1774 e 1775 Piermarini aveva messo a punto anche le altre sistemazioni della fabbrica di Brera.

L'Osservatorio Astronomico fu una delle prime a subire rimaneggiamenti, ma per esso non vi furono contrasti fra Milano e Vienna, trovandosi le due cancellerie perfettamente d'accordo sulle necessità d'adeguarne la struttura alla strumentazione sempre più precisa ed abbondante. I lavori iniziarono tempestivamente, tanto che in una relazione sul ginnasio di Brera, stesa dal Bovara nell'estate del 1775, nel cap. IV interamente dedicato alla Specola, si precisava che essa era *"quasi perfetta"* e poteva gareggiare colle migliori d'Europa. Bovara descriveva puntualmente i lavori, precisando che: *"alle due vecchie torri... se ne stanno facendo costruire altre due simili alle antiche che serviranno per collocarvi nuovi strumenti"*; poiché le quattro torri dovevano posare sui quattro angoli dell'Osservatorio

questo aveva assunto una forma diversa dall'antica: se un tempo la Specola, guardata da sud, appariva ottagonale, *"oggi, da qualsivoglia lato essa si riguardi non rassomiglia più che a un quadrato un più dilongato e all'occhio degli spettatori poco o nulla irregolare."*.

Un'altra istituzione gesuitica che andava potenziata era la Spezieria, da destinarsi ad uso pubblico, sottraendola al "segreto" che l'aveva circondata nel periodo precedente, e dotandola, secondo l'intento di Vienna di favorire l'istruzione scientifica basata sulla osservazione della natura, di un adeguato repertorio di piante officinali. Ma se i milanesi, continuando nel tentativo di imporre alla loro capitale una serie di corsi superiori ad alto livello, avrebbero voluto accompagnare l'apertura al pubblico della Spezieria con una Lettura pubblica di Farmacia e con un completo Orto Botanico ad essa collegato per la parte officinale, Vienna risolse più sbrigativamente ordinando anche ai giovani speziali di seguire le lezioni di Botanica del padre Witman per gli allievi del Ginnasio superiore, e raccomandando l'esecuzione, invece che di un completo Orto Botanico, di un Orto Economico, sostenendo essere questo più istruttivo per la nobiltà. Anche per la fondazione dell'Orto botanico-economico abbiamo una buona documentazione che ci permette di seguire le immediate cure prestate dagli amministratori, da Piermarini e dai Botanici alla sua costruzione, fin dall'autunno 1774/inverno1775, dopo che era stato trasferito da Pavia a Milano il padre vallombrosano, professore di botanica, Fulgenzio Witman.

Dopo aver eseguito un sopralluogo con il Durini, il Witman e l'ingegnere camerale Ferrari nel gennaio del '75, in modo da avere un'intera pianta dell' Orto, Piermarini predispose insieme al Witman stesso e al rizotomo Scanagatta i lavori da eseguire, i quali si prevedevano assai rilevanti.

Secondo il professore di botanica occorreva infatti togliere tutte le piante esistenti e che, dal pur sommario disegno del 1682, dovevano essere numerose; occorreva poi procurare molta terra ben pulita e sottile per pianeggiare il livello del giardini; inoltre era necessario liberare delle stanze per poter riporre in inverno circa 3000 vasi.

Il 4 febbraio di quell'anno Firmian autorizzava Durini allo sgombero di tutte le piante dell'antico giardino monastico e all'acquisto di una discreta quantità di vasi per la semina, segno che architetto e botanico si erano già pronunciati per una loro urgente costruzione.

Dalla documentazione reperita risulta che furono subito iniziati anche i lavori di progettazione delle serre calde; Bovara precisava anche che si era costituito e piantato un boschetto di alberi fruttivi e sufruttivi, e che era auspicabile di poter presto costruire le serre. Piermarini precisava nei disegni di aver anche predisposto la distribuzione generale del giardino, di aver adattato i muri confinanti con casa Trotti e di essere perciò pronto a far eseguire le stufe secondo i suoi progetti, divise in un Calidario e in un Tepidario.

Le due serre, progettate in tempi assai vicini ai primi disegni per quelle dell'Orto Botanico di Pavia, si presentano piuttosto ampie, col Calidario dai lati perfettamente rettilinei, ricoperti da vetri raccordati da telai lignei. Le loro dimensioni dovevano corrispondere a quanto richiesto dal Witman.

Sebbene questa volta non mancasse l'assenso del Kaunitz alla costruzione, esse non ebbero una immediata esecuzione. Forse l'incertezza sul luogo della loro ubicazione (il lato ovest del giardino, l'unico lato libero, invece che il lato settentrionale, più adatto ma già occupato dall'ampio stanzone per il ricovero invernale dei vasi); forse penurie finanziarie; o forse obiezioni sulla loro forma (avanzate da Kaunitz non direttamente, ma tramite le critiche ai progetti pavesi), consigliarono di rivedere il progetto.

Nel 1776, come appare da una relazione di Firmian a Kaunitz del 25 marzo, il giardino aveva oramai assunto la sua forma quasi definitiva, ripartito in tre aree, ciascuna suddivisa in tante piccole aiuole. Alle tre grandi aree dovevano corrispondere anche tre vasche per il rifornimento idrico, ben disegnate e progettate in modo da poter essere servite da una sola tromba. Le prime due grandi aiuole erano già completate, mentre era in via di esecuzione la terza. Tale distribuzione e sistemazione risulta abbastanza chiaramente deducibile anche da due fonti grafiche: una incisione rappresentante la Specola vista dal lato meridionale e la Pianta di Milano pubblicata dagli astronomi di Brera nel 1807. Da quest'ultima risulta che le vasche nell'Orto rimasero sempre due. Altre parziali

rappresentazioni dell'Orto le possiamo trarre dai diversi disegni eseguiti tra 1777 e 1797 relativi alla vendita a privati di Via Borgonovo di porzioni dello stradone interno di Brera, area che i gesuiti avevano destinato al servizio del loro giardino37.

Nel 1777 Witman ribadiva nuovamente la necessità e l'urgenza di adattare per la semina l'ultimo riquadro del giardino, quello ad occidente, aggiungendo inoltre di aver bisogno di panche su cui poter disporre i vasi in sosta, di dover costituire tre boschetti, uno di fronte alla porta di ingresso e gli altri due negli angoli in fondo, e di voler unire le arcole di mezzo per riporvi i fruttiferi, senza fare menzione delle serre. Di serre si tornò a parlare soltanto nel 1778 quando, ribadita da Kaunitz la loro necessità e destinata la spesa in bilancio, si passò all'esecuzione secondo un disegno, di certo discusso anche col Piermarini (che ne tenne conto anche per le serre pavesi), ma eseguito direttamente dal Witman, più vicino secondo i suggerimenti del Cancelliere ai modelli delle serre olandesi e tedesche. Con la trasformazione in serra del grande stanzone l'Orto botanico braidense poteva dirsi, se non elegantemente attrezzato, almeno dotato dei servizi essenziali e indispensabili al suo funzionamento. La distribuzione delle piante, dopo l'ordine da Vienna di insegnare botanica secondo un solo sistema, era stata fatta seguendo la classificazione di Linneo, invece che con la doppia Linneana e Turneforziana a cui Witman aveva provveduto in un primo tempo.

Collegati ai progetti per l'Orto botanico nella comune destinazione a medici e speziali, erano gli studi di Piermarini per ricavare e attrezzare all'interno di Brera i laboratori di Fisica e di Chimica, e che, per la loro finalità medico-scientifica, erano ritenuti necessari anche dal Kaunitz.

I voleri del Kaunitz erano stati ancora una volta vincolanti e determinanti e, come sempre, inseriti in un piano globale preciso ma lontano dalle aspirazioni milanesi. Firmian infatti, accompagnando la relazione, i piani e i disegni piermariniani inviati il 27 luglio 1775, aveva sottolineato: *"Veramente il Ginnasio di Brera va a divenire di una comodità e magnificenza per le Scienze ed Arti che forse non avrà il pari in Italia. Ivi sono tutte le scuole minori e maggiori. Un'insigne Biblioteca, l'Osservatorio Astronomico con un eccellente meccanico, e suo laboratorio. Il Gabinetto e Laboratorio per l'Ottica, l'Orto Botanico principalmente per li medicinali, la Spezieria colla Scuola che si farà di Farmaceutica, il Laboratorio chimico, le Scuole di Pittura, Scultura, Architettura ed Ornati, il Gabinetto ed Aula per le Ostensioni per la Fisica Sperimentale. Non posso pertanto che convenire col sentimento del pregato Regio Architetto di avere tutta la propensione, e desiderio di terminare la fabbrica di Brera secondo suo disegno"*, riproponendo anche di fare un Museo di antichità in Brera, con anche i *"modelli di tutte le macchine più usuali, ed utili di nuovo inventate e che s'inventeranno nell'avvenire"*.

Kaunitz nella risposta ordinava invece di non programmare assolutamente il completamento del cortile di Brera perché troppo costoso anche in relazione al pubblico decoro che sarebbe derivato a Milano, e perché: " *Quantunque siano ivi riunite molte utili scuole, non conviene far ampliare la capacità per accrescere le dette scuole; altrimenti si verrebbe a formare una completa Università"*.

Da Vienna giungevano invece sollecitazioni per la sistemazione e la distribuzione di aule per l'Accademia di Belle Arti, di cui sappiamo che Piermarini si era occupato, in parte, insieme al progetto della nuova biblioteca.

Ancora una volta, in mancanza dei dettagliati disegni dell'architetto non è agevole ipotizzare le sistemazioni proposte per i vari insegnamenti, ma, nuovamente, le parole di Kaunitz ci permettono di intuire che Piermarini aveva voluto organizzare anche l'Accademia con agio e comodità. Infatti il Cancelliere riferiva che, sostituendo il suo progetto a quello dell'architetto per la ubicazione della biblioteca *"non vi sarebbero stati tanti comodi per l'Accademia di Belle Arti, ma anche in questo caso non mancherà il facile mezzo di provvedervi senza grande spesa, infatti dietro alle Sale vi sono allo stesso Pian Terreno molte stanze che potrebbero riunirsi, e fare due, o tre capaci vasi per le diverse Scuole. E tali Stanze sembra che anche facendosi la fabbrica progettata dal Piermarini debbano lasciarsi ad uso dell'Accademia per alloggiarvi alcuni dei Professori Accademici, o per altro comodo uso"*. La sistemazione delle aule dell'Accademia da parte di Piermarini era stata fatta abbastanza

velocemente e, apparentemente, senza grosse discussioni tra Milano e Vienna. Nel suo progetto il Piermarini accentuava i legami con il razionalismo architettonico del Settecento francese che, anche a Vienna, si era manifestato chiaramente nella costruzione a metà del secolo del palazzo dell'Accademia per opera del Jadot, e la corte non poteva non riconoscere il salto di qualità che l'architetto compiva col suo linguaggio legato alla razionalizzazione del bagaglio culturale e formale sei-settecentesco, imperniato su una modulata e modulare scansione delle superfici attraverso partiture architettoniche scarsamente aggettanti e ornate da delicati stucchi e bassorilievi.

La sistemazione adottata all'Accademia di Milano era però solo apparentemente soddisfacente: essa non si presentava infatti con un blocco monumentale e decoroso di aule raggruppate unitariamente ed inoltre era collocata molto all'interno dell'edificio gesuitico. Kaunitz comunque poteva dirsi soddisfatto perché più che la funzione rappresentativa, gli stava a cuore la capacità educativa dell' Accademia.

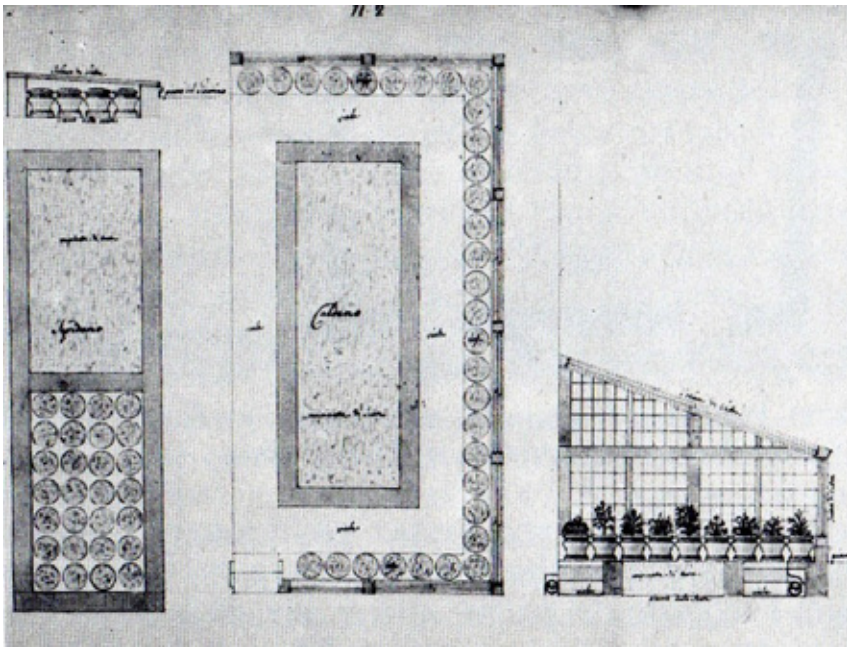


fig. 5.106 - *G. Piermarini, "Progetto per le serre calde dell'Orto gBotanico di Brera", 1775*

Vienna, Archivio di Stato

Tra 1774 e 1776 all'interno dell'ex palazzo gesuitico di Brera avevano così cominciato ad installare, nonostante le continue remore di spesa che giungevano da Vienna, i vari stabilimenti per cui Milano si era battuta. Piermarini aveva provveduto a distribuire equamente all'interno gli spazi, lasciando le Scuole inferiori e superiori attorno alla metà costruita del grande cortile, sottraendo loro solo due sale adiacenti al cortile rustico per adibirle a laboratorio ed aula di fisica che, con il vicino laboratorio chimico, costituivano un'area destinata alla sperimentazione scientifica, a cui corrispondevano dalla parte opposta l'Osservatorio astronomico e l'Orto botanico.

L'Orto Botanico, oltre ai consueti rifornimenti di erbe e semi, pur avendo perso il collegamento con la chimica officinale per i medici, vedeva ampliarsi nel 1792/93 la propria serra calda, con l'esecuzione di un forno sotterraneo per il miglior riscaldamento del locale e con la costruzione al suo interno di un anfiteatro a gradini, voluto dal giardiniere Pratesi, per la sistemazione dei vasi in sosta; il tutto seguendo quanto era stato fatto anche ad una serra pavese, ricostruita su disegno di Piermarini e secondo modelli mandati da Vienna. Riguardo allo Stradone interno, le cessioni avevano tolto luce ed aria al pianterreno orientale del palazzo, causando ristagni di acqua ed umidità tali da richiedere interventi del Segrè per risistemare la situazione con la costruzione di nuovi canali di scolo.

Le trasformazioni del periodo napoleonico dell'età della Restaurazione

Nel 1812 Pietro Gilardoni presentò il disegno del progetto definitivo posto in esecuzione e con cui prese forma l'ala a nord-est del palazzo di Brera.

Nel 1811 aveva dato anche i disegni per la costruzione di nuove serre all'Orto Botanico. Dal 1802, quando era stato nominato custode di esso Filippo Armano, l'orto aveva avuto uno sviluppo assai diverso da quello impressogli negli anni precedenti da Witman e Pratesi. Se infatti lo scopo principale di esso nel periodo austriaco era stato quello didattico, nel rilancio di Brera esso aveva suscitato interessi ed entusiasmi molteplici, tali ad esempio da far proporre ad Ercole Silva la sua trasformazione in luogo di ritrovo per la cittadinanza.

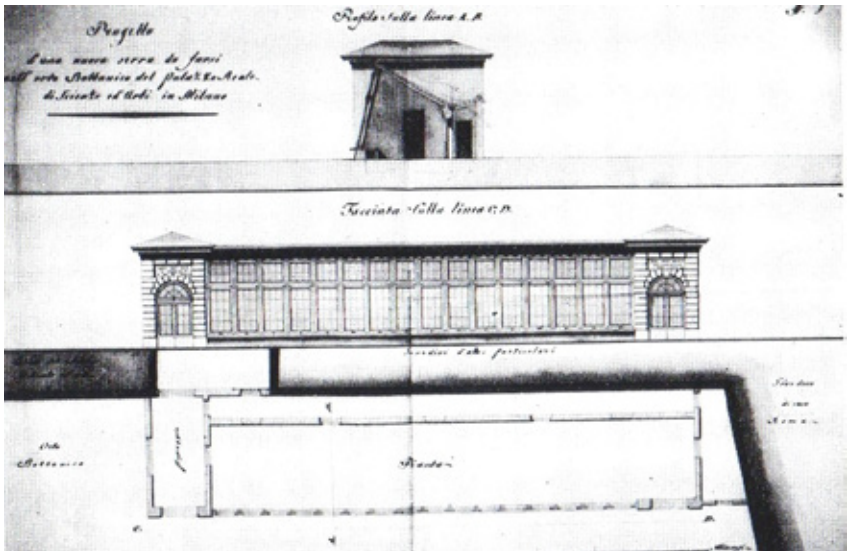


fig. 5.107 - *P. Gilardoni, "Primo progetto per le nuove serre dell'Orto Botanico di Brera", 1811*

Milano, Archivio di Stato

L'Armano, immediatamente adeguatosi a questa nuova realtà, volle assecondare gli entusiasmi della nobiltà per le piante esotiche e sviluppò enormemente la quantità di piante ornamentali rappresentate nel giardino, tanto che *"mettendo a contribuzione i dilettanti (esso) si è arricchito al punto da poter acquistare vegetali rarissimi a Chelsea, Noisette, Dupont"*, nonché a Parigi, Schönbrunn, Montpellier, Copenaghen.

Questo sviluppo rendeva insufficienti le vecchie serre, imponendo la costruzione di altre nuove.

Gilardoni aveva così fatto il 5 dicembre 1811 un sopralluogo alle serre settecentesche, trovandole *"di cattiva costruzione, e poco atte alla vegetazione ed incremento delle piante forestiere ivi raccolte da quel Prof. e Custode Sig. Armani; oltre di che sono anche di molto logore e rose dal tempo"* proponeva perciò la costruzione di una nuova serra verso il giardino di casa Roma (in direzione nord-est del giardino), serra suddivisa in calidario e tepidario, utilizzando contemporaneamente l'antica solo come frigidario.

Tale progetto, sebbene elegante e comunque ispirato ai modelli delle serre pavesi redatti da Pollack su suggerimento di Vienna, suscitò le proteste del confinante Corridoni al cui muro di cinta la serra doveva appoggiarsi.

Le proteste di Corridoni costrinsero l'architetto a preparare un secondo disegno, mentre veniva accordato allo stesso Corridoni il permesso di innalzare le proprie serre: il nuovo edificio progettato per Brera era di dimensioni minori rispetto al precedente.

Il nuovo progetto risultava poi un po' economico rinunciando alle testate in pietra bugnata.

Le dispute col Corridoni provocarono però un intervento diretto del Direttore Generale della Pubblica Istruzione che ordinò una perizia al professore di Botanica Sangiorgio, onde decidere più oculatamente sulla utilità delle serre.

Costui, ricordando che la destinazione iniziale dell'Orto era stata quella di istruire medici e speziali, sosteneva che per questo scopo il giardino di Brera *"quantunque*

mancante di aria e di acqua" serviva benissimo, ma l'interesse dei giardinieri aveva fatto *"rappresentare al governo essere necessaria una serra per coltivare quelle piante esotiche che avevano relazione colle piante mediche".*

Il governo aveva allora consentito ma, da quel momento in poi, il proliferare delle piante esotiche era stato enorme e non a vantaggio ma a scapito dell'Istruzione poiché gli scolari erano stati esclusi dall'Orto e il Professore, non potendo far lezione in serra, doveva condurre gli allievi in campagna.

Venendo allo specifico soggiungeva che l'antica serra era sistemata in modo tale da non dar fastidio ed incomodo a nessuno, né occupava un'area necessaria al giardino. La moderna sarebbe stata bassa per i frutti esotici ed al tempo stesso ingombrante, poiché, dovendo star lontana due braccia dal muro Corridoni, sporgeva assai nell'Orto.

La dura requisitoria del Sangiorgio bloccò il progetto e convinse a destinare i fondi da destinarsi alle serre ad opere già approvate e da eseguirsi all'Osservatorio Astronomico.

A completamento di tutti i lavori che avevano ampiamente modificato il palazzo (e che ancora tendevano a definire meglio le varie parti, sistemando ad esempio nella Pinacoteca una sezione relativa agli affreschi), nel 1813/14, veniva decretata la selciatura della piazzetta e di Via Fiori.

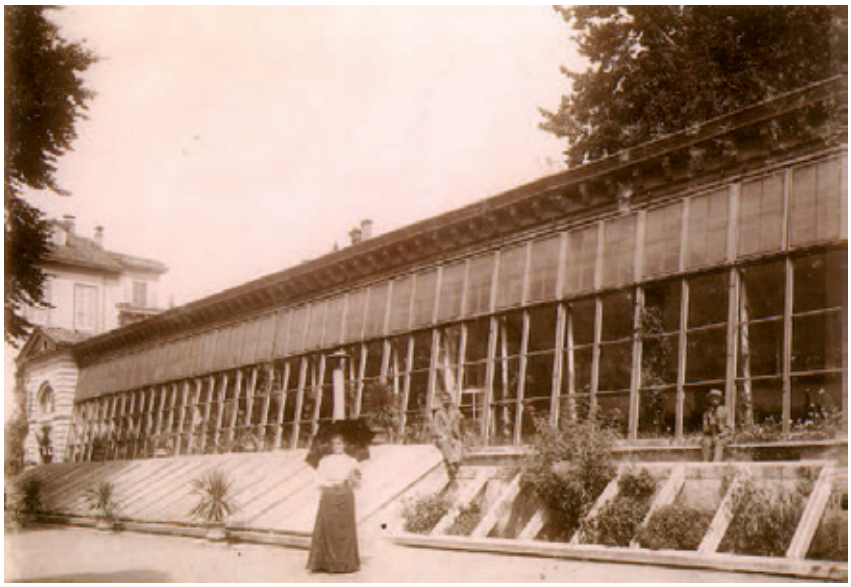


fig. 5.108 - *Fotografia della serra completata scattata alla fine del 1800*

Interventi nel Secolo XX

Nel dopoguerra fu soprattutto l'Orto Botanico ad essere interessato dal bisogno di spazi dell'Accademia. Questa ottenne infatti nel 1955 l'autorizzazione a costruire *"tre nuove aule...nell'area delle serre dell'Orto Botanico, distrutto nel periodo bellico da bombardamento e non ancora ricostruito...si è preparato, dietro indicazione dell'architetto Pietro Portaluppi e del Genio Civile, un progetto di ricostruzione delle serre che, senza alternarne la primitiva linea architettonica e senza per nulla menomare la zona di verde creata dall'Orto Botanico, possa servire alle esigenze dell'Accademia di Belle Arti".*

Il progetto esecutivo fu affidato all'architetti Varisco e prevedeva l'alternazione di cubatura e del profilo complessivo delle antiche serre, eliminazione della bipartizione esistente nelle due testate e la riduzione ad una sola arcata. Dopo un lunghissimo periodo di incuria e degrado, l'Orto è stato restaurato. Il restauro è stato sponsorizzato dalla Cariplo. Si tratta di un restauro conservativo, rispettoso dell'impianto originario e delle "stratificazioni" di epoche successive. Esso è stato realizzato dalla Divisione Edilizia dell'Università degli Studi di Milano avvalendosi della direzione artistica dell'Architetto Lionella Scazzosi del Politecnico di Milano. L'Architetto Scazzosi è stata affiancata da una commissione formata da botanici, storici dell'arte, esperti di giardini storici.

5.1.2 OGGI: STRUTTURA, ORGANIZZAZIONE E ATTIVITÀ DIDATTICHE

L'orto, oggigiorno, è una struttura universitaria e museale che organizza eventi e attività per il pubblico e le scuole. Fa parte, assieme ad altri 6 orti botanici, della Rete degli Orti della Lombardia, associazione che ha lo scopo di progettare e sviluppare iniziative culturali congiunte. Da anni, nei locali dell'Orto è ospitata la Sezione Didattica del Comune di Milano che offre percorsi didattici alle scuole. Da oltre 15 anni l'Università degli Studi di Milano promuove in Palazzo Brera "Storia e Scienza a Brera", un percorso volto a dialogare in maniera costruttiva con insegnanti , studenti e con il pubblico vario.

"Storia e Scienza a Brera", iniziativa di diffusione di cultura scientifica, consta di una serie di attività didattiche su temi di fisica, astronomia e botanica aventi carattere storico-scientifico ed interdisciplinare. Da qualche anno l'Orto Botanico di Brera fa parte del Museo Astronomico-Orto Botanico di Brera dell'Università degli Studi di Milano. Il museo (MAOBB) organizza visite guidate sia al Museo Astronomico sia all'Oro Botanico. La visita guidata all'orto, il cui tema è "Natura e Storia all'Orto Botanico di Brera", prevede un itinerario didattico che si orienta sui temi offerti dalle stagioni e sulla peculiarità botanica e storica dell'Orto. L'Orto Botanico di Brera nell'attuale configurazione è un giardino storico che conserva molte testimonianze del passato. Vi sono conservate piante secolari ed esemplari che per le dimensioni imponenti o per la forma insolita delle foglie, dei frutti o delle cortecce. Vi sono interessanti collezioni, come quella della piante officinali e quella del genere Salvia.

5.1.3 NATURA E TECNOLOGIA

Uno dei luoghi più celebri e suggestivi di Milano, l'Orto botanico di Brera, potrà esere visitato in piena autonomia e sicurezza da ipo e non vedenti. La direzione dell'Orto, gestito dall'Università degli Studi, con l'aiuto del Rotary Club Milano Brera, metterà a disposizione dall'11 giugno una tecnologia (non invasiva e rispettosa del luogo) che consentirà ad ipo e non vedenti di sperimentare un vero e proprio percorso di conoscenza e sensoriale all'interno dell'Orto Botanico, godendo di uno dei luoghi più antichi della città, dedicato dal 1774 alla ricerca e alla didattica. Potranno toccare le cortecce e le radici superficiali di alberi secolari, percepire il rumore dell'acqua che scorre nelle vasche, i rumori attutiti della città, gli odori delle piante aromatiche, fermandosi a riposare sulle panchine ed accedendo facilmente a numerose informazioni sulla storia, la ricchezza botanica e il rapporto privilegiato dell'Orto con la città e il Palazzo nel quale è inserito. Nell'Orto sono stati interrati a pochi centimetri di profondità "transponder" passivi (microchip). Un bastone che fungerà da antenna rileverà i segnali provenienti dai trasponder e li invierà a un auricolare collegato a un telefono cellulare. I non vedenti riceveranno così informazioni sulla loro posizione e sul percorso. Il cellulare sarà collegato ad un database esterno che fornirà, in tre lingue (italiano, inglese e francese), una serie di informazioni sulle specificità dell'Orto, sul suo patrimonio botanico o sulle caratteristiche di un determinato albero o di un fiore. Il sistema sarà sicuramente un importante ausilio anche in occasione del prossimo Expo 2015.

5.1.4 COLLEZIONI E ATTRAZIONI PRINCIPALI

Oltre alle collezioni di ortensie e di piante medicinali, particolarmente interessante è la collezione di numerosi esemplari appartenenti al genere Salvia. Tra le specie più interessanti vi sono S. fulgens, S. sclarea, S. pratensis, S. dominica, S. transsilvanica, S. glutinosa, S. virgata, S. verticillata, S. elegans, S. nemorosa, S. verbenaca, S. guaranitica, S. frutucosa, oltre a S. officinalis e le sue cultivar "Maxima", "Argentea", "Purpurascens", "Icterina" e Tricolor".

Fiori

Da qualche anno all'Orto Botanico di Brera è possibile ammirare migliaia di bulbi a fioritura primaverile: giacinti, narcisi , tulipani, leucojum.... L'appuntamento con le bulbose primaverili è di breve durata ma molto suggestivo: nei nostri climi entro la fine di aprile, è ancora possibile ammirare le ultime fioriture dei tulipani tardivi mente i giacinti spesso sono già fioriti da fine febbraio. Se si desidera godere della fioritura dei bulbi primaverili è necessario piantarli, in vaso o in piena terra, dall'autunno precedente. Negli anni scorsi l'Orto Botanico di Brera ha svolto un esperimento per conto del Centro internazionale dei bulbi da fiore di Hillegom in Olanda; per questo piante erbacee perenni sono state piantate insieme ai bulbi primaverili olandesi. Lo scopo era verificare, oltre allo sviluppo dei singoli bulbi nei nostri climi, quale tra le piante erbacee si prestava meglio a nascondere le foglie appassite delle bulbose una volta terminata la loro fioritura. Oggi l'esperimento è terminato ma il giardino mostra ancora gradevoli suggestioni dal momento che i bulbi da fiore sono in grado di moltiplicarsi e rifiorire per più anni.

Famiglia: Liliaceae
Origine: Europa, regioni mediterranee e Asia Minore
Genere che in Italia presenta numerose specie spontanee. Sono piante rustiche che ben si naturalizzano. Generalmente profumate, il nome deriva dall'arabo "muscárimi" che indica l'odore di muschio.
Chiamato comunemente anche cipollaccio o lampascione, i suoi bulbi si possono mangiare, previa bollitura in abbondante acqua acidulata, per eliminare il sapore eccessivamente amarognolo di base. Sono ottimi con la carne o nelle frittate.

fig. 5.109 - *Muscari comosum (L.) Mill*

fig. 5.110 - *Muscari armeniacum L.*

NARCISO

Genere Narcissus
Famiglia: Amaryllidaceae
Origine: Europa del sud, zone settentrionali di Africa e Asia Minore

Genere che comprende specie perenni, bulbose. I narcisi sono numerosi e molto diversi per forma, colori, dimensioni e periodo di fioritura. Il nome deriva dal greco "narkáo" che significa stordimento; si credeva infatti che il suo forte profumo fosse un narcotico. I narcisi sono di facile coltivazione e tendono così a spontaneizzarsi. La coltivazione del narciso si presta molto ad abbinamenti con altri bulbi primaverili o con altre varietà di piante erbacee perenni.

fig. 5.111 - *Narcissus poeticus "Actaea"*

fig. 5.112 - *Narcisi con piante perenni*

fig. 5.113 - *Narcissus "Flower Drift"*

fig. 5.114 - *Narcisi in diverse varietà*

TULIPANO

Genere: Tulipa
Famiglia: Liliaceae
Origine: Asia centro-meridionale

Genere in cui si contano almeno 150 specie perenni bulbose. Straordinaria è la loro variabilità nel colore e nella forma; possono essere precoci o tardivi, ibridi e botanici. I tulipani di oggi sono molto diversi da quelli coltivati nei secoli scorsi poiché attualmente si trovano in commercio prevalentemente degli ibridi. Nel 1554 l'ambasciatore austriaco a Instanbul portò a Vienna il primo tulipano, che tuttavia non era turco ma proveniva dalla Persia. Un'antica leggenda persiana considera il tulipano simbolo di un amore infelice.

fig. 5.115 - *Tulipa turkestanica*

fig. 5.116 - *Tulipa "Ballade"*

fig. 5.117 - *Tulipa linifolia*

fig. 5.118 - *Tulipa "Purissima"*

GIACINTO

Genere: Hyacinthus
Famiglia: Liliaceae
Origine: Asia Occidentale

Il genere comprende specie perenni, bulbose. Oggi esistono circa 30 specie e numerose cultivar. Il nome deriva da Giacinto il giovano amico di Apollo. Probabilmente i primi bulbi arrivarono in Italia a Padova nel 1590 e un secolo dopo Cosimo de' Medici li importava dall'Olanda per i suoi giardini. Il loro profumo è proverbiale! Piantiamo i bulbi di giacinto in terra o in vaso in autunno ed avremo così una meravigliosa fioritura in primavera.

fig. 5.119 - *Hyacinthus "Atlantic"*

fig. 5.120 - *Hyacinthus "Splendid Cornelia"*

fig. 5.121 - *Hyacinthus "Pink Pearl"*

fig. 5.122 - *Hyacinthus "Fondant"*

Famiglia: Amaryllidaceae
Origine: Europa, Asia e nord Africa.
Bulbosa perenne, alcune protette. Il fiore, molto simile a quello del bucaneve, è una campanella bianca e profumata, con un puntino di colore verde brillante all'apice di ogni petalo. L'intera pianta è velenosa.

fig. 5.123 - *Leucojum aestivum L.*

Famiglia: Liliaceae
Origine: Europa e Asia set.
Genere che comprende specie perenni, bulbose tra le quali sono comuni quelle alimentari come cipolla e aglio. Spesso le specie ornamentali di Allium non sono molto utilizzate anche se sono molto coprenti e di effetto.

fig. 5.124 - *Allium ursinum L.*

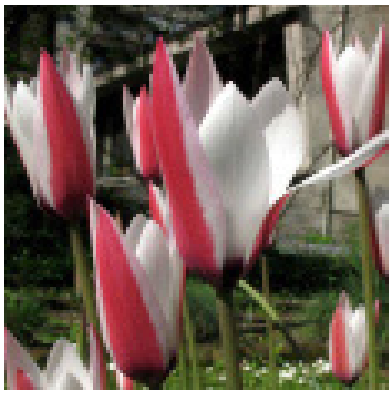


fig. 5.125 - *Tulipa clusiana DC.*

E' naturalizzata in Orto come in gran parte d'Italia ed è uno dei fiori più belli ed aggraziati della nostra flora. Il suo nome è da attribuirsi al botanico francese Clusius che studiò a lungo i tulipani portandoli nei Paesi Bassi alla fine del '500.

fig. 5.126 - *Scilla sibirica L.*

Famiglia: Liliaceae
Origine: Europa, Mediterraneo, Asia Minore.
In questo genere si trovano specie perenni, bulbose e velenose. Sono piante resistenti al gelo che si moltiplicano con grande facilità. In Italia talune specie sono spontanee e protette!

Acer pseudoplatanus L.
Famiglia: Aceraceae Nome comune: acero di monte, sicomoro.
Origine: Europa, Caucaso.
La corteccia è grigia a striature longitudinali, rimane a lungo liscia e con l'età inizia a fessurarsi e desquamarsi. E' stata utilizzata per tingere i tessuti: si ottengono il grigio, il giallo e il marrone.
Il legno è molto duro, dal latino acer ha il significato di aspro.

Celtis australis L.
Famiglia: Ulmaceae
Nome comune: bagolaro, spaccasassi.
Origine: Mediterraneo
La corteccia è grigia e liscia. Da essa si ricava un colorante giallo, usato fin dall'epoca romana, e ancora oggi in Asia, per tingere il cuoio. Il legno è duro e diritto, usato per bastoni da passeggio, manici d'attrezzi ed intarsi. Dà un buon carbone.

Juglans nigra L.
Famiglia: Juglandaceae
Nome comune: noce nero
Origine: Nord-America
La corteccia è brunastra, scura, spessa e tende a fessurarsi. Dopo la pioggia diventa di colore nero. Il legno è omogeneo, scuro, fortemente venato ed è uno tra i più pregiati per mobili, incisioni e per farne assi o calci di fucili perchè resiste bene agli urti.

Magnolia grandiflora L.
Famiglia: Magnoliaceae Nome comune: magnolia sempreverde
Origine: Stati Uniti merid.
La corteccia si presenta liscia, di color grigio-nerastro e si spacca in piccole lamine, risultando screpolata. Il legno è poco pregiato. In estate compaiono grandi fiori bianchi che sprigionano il loro profumo soprattutto di notte.

Platanus hybrida L.
Famiglia: Platanaceae
Nome comune: platano
Origine: Nord-America
La corteccia di color bruno chiaro tende a desquamarsi lasciando in evidenza chiazze beige che danno al tronco un aspetto maculato. Il legno è forte, di color ocra-rossastro e con regolari venature. E' utilizzato per fabbricare mobili.

Tilia tomentosa Moench.
Famiglia: Tiliaceae
Nome comune: tiglio argentato
Origine: Europa sud-est
Ha una corteccia grigia e molto liscia, che diventa grigio- scura o bruna e si screpola in placche. Le fibre della corteccia interna erano usate per fare stuoie, reti e corde in tessuti grossolani. Legno bianco, tenero, usato nell'industria cartaria.

Ailanthus vilmoriniana Dode
Famiglia: Simaroubaceae
Nome comune: ailanto, albero del paradiso
Origine: Cina
Corteccia grigio-brunastra, chiara sui rami giovani, liscia o leggermente rugosa. Contiene sostanze dal potere antimalarico e antitumorale. In Italia si è diffuso per allevare un baco che produceva un materiale simile alla seta, oggi in disuso.

Diospyros kaki L.
Famiglia: Ebenaceae
Nome comune: caco, kaki
Origine: Cina, Giappone
Corteccia grigio-scura, lucida e rugosa, le venature formano un mosaico. Pianta caducifoglia, apprezzata e coltivata per i suoi frutti molto zuccherini, considerata virtuosa dai Cinesi anche per l'assenza di tarli del legno. Appartiene alla famiglia dell'ebano.

Ilex cornuta Lindl. & Paxt.
Famiglia: Aquifoliaceae
Nome comune: agrifoglio cinese.
Origine: Cina
La corteccia è di un color grigio-metallico e liscia o leggermente rugosa. In orto è presente anche la specie più nota Ilex aquifolium L., o agrifoglio, con la varietà "heterophylla", senza spine. Gli Ilex sono piante dioiche.

Pterocarya fraxinifolia Spach.
Famiglia: Juglandaceae
Nome comune: noce del Caucaso
Origine: Caucaso, Iran
Corteccia color grigio pallido, spessa, nodosa e ricca di solchi e scanalature, dove si rifugiano molti insetti. Della stessa famiglia del genere Juglans produce piccole noci alate portate da infruttescenze femminili pendule.

Firmiana platanifolia Schott. & Endl.
Famiglia: Sterculiaceae
Nome comune: albero parasole della Cina
Origine: Cina, Giappone
Corteccia particolare, sottilissima, liscia di color verde-grigiastro; si possono vedere i vasi sottostanti (venature verdi). Al tatto è fredda, soprattutto nelle giornate di pioggia. E' coltivata per il suo bel portamento.

Ginkgo biloba L.
Famiglia: Ginkgoaceae
Nome comune: ginkgo
Origine: Cina
La corteccia è liscia, e di color argento nelle piante giovani, di colore grigio-brunastro fino a marrone scuro e di tessitura fessurata negli esemplari maturi. Il Ginkgo è una delle piante più antiche presenti sulla Terra, sono stati trovati resti fossili risalenti a 250 milioni d'anni fa.

Cortecce

All'Orto Botanico di Brera possiamo trovare alberi provenienti da diverse parti del mondo. Ognuno è importante ed unico nella sua specie. Alcuni sono coltivati per la loro fioritura, per la loro struttura e dimensione; altri per la loro bellezza ed eleganza o per la produzione di frutti. Lo scopo di questo pieghevole è quello di accompagnare il visitatore durante una passeggiata alla scoperta delle meraviglie del giardino durante la stagione invernale, con particolare attenzione alle cortecce degli alberi. Le cortecce proteggono l'albero dai parassiti, dalle malattie e dagli agenti atmosferici; possono essere suberose, spinose, liscie o molto sottili e di vari colori.

Alberi

Tra le specie più interessanti:

- due esemplari (maschio e femmina) di Ginkgo biloba;
- Juglans nigra;
- Firmiana platanifolia;
- Pterocarya fraxinifolia.

Vasche

Sono presenti due granid vasche settecentesce anch'esse restaurate e tornate ora perfettamente funzionanti.

fig. 5.127 - *Vasca settecentesca di forma ellittica: era usata per l'irrigazione*

5.1.1 RILIEVO FOTOGRAFICO

Dati	
Autore	Massimiliano Giani
Luogo	Orto Botanico di Brera
Data e ora	00-00-2013, h.11.30
Formato [LxH]	*4272 × 2848 pixels*
Spazio colori	*RGB*
Produttore fotocamere	*Canon*
Modello	*Canon EOS 1100D*
Lunghezza focale	*18*
Rapporto focale	*13*
Programma esposizione	*2*
Tempo di esposizione	*1/500*

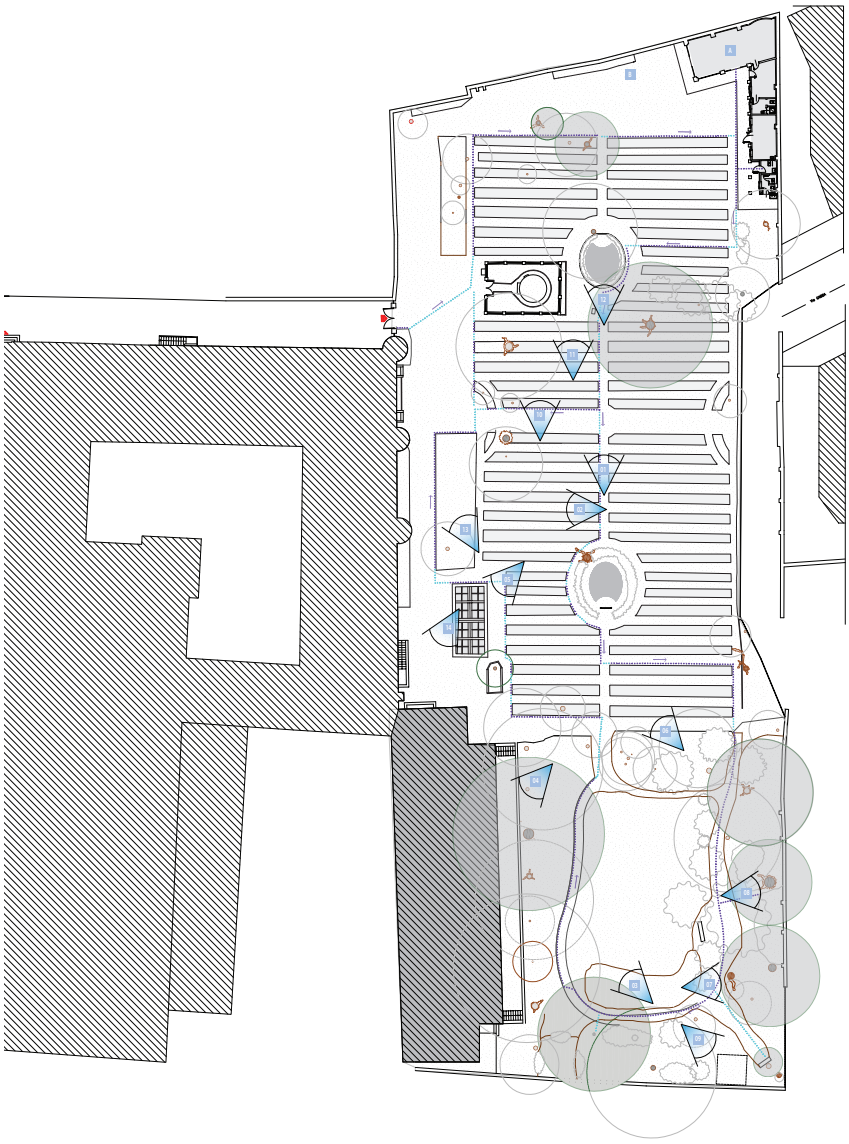


fig. 5.128 - *Navigatore per rilievo fotografico*

fig. 5.129 - *Foto 01. Vista dell'orto*

fig. 5.130 - *Foto 02. Vista deil'orto dedicata ai fiori*

fig. 5.131 - *Foto 03. Vista del restauro della serra.*

fig. 5.132 - *Foto 04. Vista e dettaglio della facciata vetrata*

fig. 5.133 - *Foto 05. Vista dell'orto nell'orto*

fig. 5.134 - *Foto 06. Vista della specola di Brera*

fig. 5.135 - *Foto 07. Vista ceppo di Maclura*

fig. 5.136 - *Foto 08. Ginko Biloba - Esempio di solidarietà in natura.*

fig. 5.137 - *Foto 09. Vista del lato della serra*

fig. 5.138 - *Foto 10. Vista dell'orto dedicata alle essenze.*

fig. 5.139 - *Foto 11. Esempio di posizione di uno studente durante una lezione di botanica*

fig. 5.140 - *Foto 12. Vasca settecentesca di forma ellittica: era usata per l'irrigazione*

fig. 5.141 - *Foto 13. Vista dell'orto deidcata ai germogli*

fig. 5.142 - *Foto 14. Dettaglio di collegamento tra la serra e il Palazzo di Brera*

fig. 5.143 - *Foto 15. Piccola specola: costruita nella seconda metà dell'ottocento ; ospitava lo "strumento dei passaggi" per determinare con precisione il passaggio degli astri sul meridiano locale*

fig. 5.144 - *Foto 16. Vista dell'aula. Costruita in occasione del restauro del 2001 utilizzando una vecchia tettoia.*

fig. 5.145 - *Ex-Prof. Claudio Longo*
Professore in pensione dell'Accademia di Brera e responsabile dei giardini dell'Orto Botanico.

Citazioni
Premessa: si chiamano polloni dei rami di un albero che spuntano tutt'intorno al tronco all'altezza del terreno. Hanno origine da gemme che si formano sulle radici.

Riferimento a fig. 34
Maclura. E' stata abbattuta perchè il tronco era marcio dentro e quindi a rischio di crollo. Ma una radice ha rigenerato dei polloni. Il giardiniere li ha tagliati lasciando solo il più vigoroso che ora sta acquistando l'aspetto di un vero albero. Non è un altro individuo distinto dalla Maclura abbattuta, è sempre lei, ha lo stesso patrimonio genetico. E' come se l'albero dicesse: volevate farmi fuori? ma io non mi arrendo.
Resistenza

Riferimento a fig. 35
Ginkgo. Lateralmente al tronco gigante sono spuntati due polloni che si sono attorcigliati l'uno sull'altro saldandosi in numerosi punti. E' una ricerca di stabilità. I due polloni sono alti e sottili ma intrecciati insieme sono più robusti.
Solidarietà

5.2 TIPOLOGIE E ASPETTI ARCHITETTONICI

5.2.1 CRITERI BIOCLIMATICI E SISTEMI SOLARI PASSIVI

I criteri bioclimatici riguardano il contenimento dei consumi energetici di edifici, prevalentemente ottenibili, come già detto, attraverso:

- la conservazione dell'energia (isolamento e inerzia termica, controllo dei fenomeni di condensazione, dei ponti termici e delle infiltrazioni/ricambi d'aria);
- il riscaldamento solare passivo (con sistemi diretti, indiretti ed isolati);
- il raffrescamento passivo (protezione dall'irraggiamento solare, inerzia termica, ventilazione naturale, irraggiamento notturno ed evaporazione);
- l'illuminazione naturale (adeguata posizione e dimensionamento delle superfici trasparenti, adozione di sistemi di riflessione e/o canalizzazione della luce).

La crescita dei costi economici ed ambientali delle fonti di energia tradizionali, i problemi legati all'inquinamento dell'aria nelle grandi città, l'eventualità dell'esaurimento di alcune fonti di combustibile a fronte di una crescita del fabbisogno di energia sono alcuni dei fattori che hanno stimolato negli ultimi anni la ricerca e la sperimentazione nel campo delle tecnologie per lo sfruttamento delle fonti di energia alternative e rinnovabili.

I rilevamenti sulla qualità dell'aria effettuati nelle grandi città hanno dimostrato come l'utilizzo di combustibile per il riscaldamento degli edifici sia la causa principale dell'alto tasso di inquinamento dell'aria. La necessità di ridurre i consumi energetici ha portato perciò, negli ultimi anni, al varo di una serie di normative volte sia ad incentivare, anche tramite contributi economici, il ricorso ad impianti ad alto rendimento, sia a stimolare la realizzazione di un'edilizia nuova attenta ai consumi energetici e a riqualificare, sempre dal punto di vista energetico, quella esistente.

Si è anche giunti ad elaborare un nuovo modo di concepire, progettare e costruire gli edifici, sia dal punto di vista architettonico che strutturale, ponendo particolare attenzione all'interazione dell'edificio con l'ambiente circostante, alle caratteristiche costruttive e strutturali, e ai materiali impiegati che vengono attentamente determinati per sfruttare al meglio gli apporti energetici che l'ambiente esterno è in grado di fornire.

Diventa così possibile, a seconda delle condizioni esterne, sfruttare gli apporti gratuiti per ridurre di una quota sensibile (e per alcuni periodi dell'anno totalmente) il fabbisogno energetico dell'edificio. Oltre ai sistemi classici di captazione della radiazione solare (collettori e pannelli fotovoltaici, i cosiddetti sistemi solari attivi) va facendosi strada l'utilizzo dei sistemi solari passivi, ovvero il ricorso alle stesse strutture edilizie per captare, dissipare, accumulare e distribuire in modo controllato l'energia termica connessa alla radiazione solare. Materiali isolanti trasparenti di nuova concezione migliorano sempre più la capacità dei raggi del sole di riscaldare le pareti e l'ambiente interno e, allo stesso tempo, di trattenere il calore che verrà immagazzinato nelle strutture e restituito durante la notte. Ampie finestrature di spessore e materiale opportuno e munite di sistemi di oscuramento automatizzati permettono di sfruttare al meglio la luce e il calore che il sole offre, senza tuttavia disperdere troppo calore verso l'esterno. Va inoltre sempre più diffondendosi la costruzione di vere e proprie serre a ridosso di una parete perimetrale che nella stagione invernale captano le radiazioni solari e trasferiscono il calore all'edificio.

Se il sole può fornire per parte dell'anno l'energia necessaria, è pure vero che nei periodi più sfavorevoli non riesce a soddisfare l'interno fabbisogno energetico.

Tutte queste soluzioni architettoniche sono perciò affiancate da soluzioni impiantistiche efficienti ed economiche nella loro gestione: ad esempio la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria realizzata con *pompe di calore*.

Questa tipologia impiantistica permette di soddisfare il fabbisogno energetico estivo e invernale, con consumi estremamente ridotti, nel momento in cui gli apporti solari non

sono sufficienti.

Possiamo perciò individuare tipi di edifici a seconda del tipo di consumo energetico: edifici ad alta dispersione termica (con conseguente alto fabbisogno energetico), cioè edifici costruiti senza vincoli riguardo alla coibentazione delle strutture; edifici a bassa dispersione termica, costruiti secondo precisi criteri sia di coibentazione che relativi a rendimenti minimi degli impianti termici previsti dalle leggi (Legge 373/1976, Legge 10/1991, D.lgs. 192/05, D.lgs. 311/06); edifici a basso consumo energetico, ovvero dotati di sistemi solari passivi ed attivi e di impiantistica, tali da consentire elevati risparmi energetici; edifici energeticamente autonomi, a zero consumo energetico, che utilizzano esclusivamente fonti rinnovabili e tecnologie costruttive d'avanguardia.

Energia

Nella stagione fredda, l'energia solare può dare un contributo significativo al fabbisogno energetico degli edifici. A tal fine vengono utilizzati i seguenti meccanismi: la captazione solare (in cui l'energia captata viene trasformata in calore), l'accumulo termico (in cui il calore captato viene accumulato per un uso successivo), la distribuzione del calore (in cui il calore captato/accumulato viene indirizzato alle parti dell'edificio che è necessario riscaldare), la conservazione del calore (in cui il calore è mantenuto nell'edificio il più a lungo possibile). I sistemi solari passivi sfruttano tutti questi meccanismi e utilizzano quindi l'energia solare in modo passivo.

Con l'espressione *"energia solare passiva"* si intende in genere raggruppare tutte le applicazioni in cui l'energia solare viene utilizzata senza alcun ausilio motorizzato, e in cui la distribuzione del calore prodotto avviene grazie ai fenomeni naturali della conduzione, della convezione e dell'irraggiamento, anziché mediante l'utilizzazione di pompe o ventole. Il maggior vantaggio di un sistema solare passivo è probabilmente la possibilità che il sistema non solo consenta risparmio energetico, ma possa anche essere incluso con lievi costi addizionali (rispetto ai sistemi attivi) nel progetto e nella costruzione di un edificio.

La qualità dello spazio vissuto cresce in funzione della buona progettazione di questo; un altro vantaggio è costituito dalla semplicità di funzionamento e manutenzione del sistema, i quali possono essere svolti anche dai proprietari e pertanto hanno un ruolo educativo e di presa di coscienza del proprio benessere psicofisico.

Nella gestione di un edificio o di un'abitazione, le strategie solari passive, con diverse varianti, possono essere sostanzialmente impiegate per raggiungere tre obiettivi principali: riscaldamento, raffrescamento, illuminazione.

Riscaldamento

Il riscaldamento di un edificio, soprattutto nei climi freddi, avviene attraverso l'accumulo, la distribuzione e la conservazione dell'energia termica solare.

Al fine di raggiungere questo scopo le principali tecniche passive prevedono l'impiego di muri termoaccumulatori, di un ottimo isolamento, di una notevole massa termica, di sistemi di preriscaldamento dell'aria, di superfici vetrate esposte a sud, di vere e proprie serre annesse all'edificio ed altri accorgimenti ancora. Tali sistemi si dividono in diretti, indiretti ed isolati e verranno descritti in modo approfondito nel prossimo paragrafo.

Raffrescamento

Il raffrescamento naturale di un edificio avviene grazie alla ventilazione naturale, alla schermatura e all'espulsione del calore indesiderato verso dissipatori di calore ambientali (aria, cielo, terra, acqua). Le principali tecniche impiegate in questo caso prevedono soprattutto l'utilizzo di condotte d'aria interrate, di camini solari, di una buona massa termica, della ventilazione indotta, di protezioni dall'irraggiamento diretto e di sistemi per la deumidificazione o per l'evaporazione dell'acqua. L'importanza del raffrescamento passivo è motivata dal fatto che il fabbisogno di raffreddamento degli edifici è aumentato notevolmente negli ultimi anni, creando importanti problemi ambientali, economici, di

salute e soprattutto di consumi elettrici. La ventilazione naturale agisce sul benessere attraverso due meccanismi, uno indiretto e l'atro diretto: il primo influenza il bilancio termico dell'edificio, il secondo quello dell'individuo (consentendo di incrementare gli scambi convettivi tra uomo e ambiente con conseguenze positive sul benessere termico). Il termine ventilazione viene usato per definire tre diverse funzioni: l'approvvigionamento di aria fresca, la rimozione del calore da un ambiente attraverso il ricambio dell'aria e il raffreddamento fisiologico. La ventilazione naturale dà luogo a raffreddamento tramite le correnti d'aria generate da fenomeni naturali come l'azione del vento e l'effetto camino.

È necessario precisare che sia l'azione del vento che l'effetto camino influenzano la ventilazione degli edifici; in particolare, la prima viene molto influenzata dalle condizioni anemologiche del luogo, mentre il secondo dall'altezza degli ambienti o degli elementi dedicati (torri del vento, camini solari, intercapedini ventilate, ecc.). Ad esempio le torri del vento iraniane sono elementi autonomi integrati nell'edificio con la funzione di generare un movimento d'aria al loro interno, e costituiscono una indicazione efficace per il raffreddamento degli edifici in climi aridi. Nel suo funzionamento notturno la torre si raffredda poiché la sua massa muraria cede calore all'aria (in essa contenuta) che si riscalda.

Si genera quindi un moto ascensionale dell'aria che, richiamata da aperture poste alla base dell'edificio, favorisce il raffreddamento dell'edificio e soprattutto della torre stessa che funge da accumulo di freddo. Di giorno l'aria calda esterna, venendo a contatto con la massa muraria della torre, si raffredda, ed aumentando di conseguenza la sua densità scende verso il basso, entrando nell'edificio e provocandone il raffreddamento. Tale meccanismo di funzionamento, accelerato dall'azione del vento, ha comportato interessanti soluzioni in climi caldi pervenendo a soddisfacenti risultati di integrazione architettonica.

Il raffrescamento evaporativo sfrutta l'abbassamento di temperatura dell'aria che si verifica a seguito dell'evaporazione dell'acqua. Questa evaporazione diminuisce all'aumentare dell'umidità relativa dell'aria, fino ad annullarsi per alti valori (condizioni di saturazione) di quest'ultima. Tale possibilità di raffreddamento, che veniva anche utilizzata nelle torri del vento iraniane, può avere varie possibilità di applicazione sia negli ambienti interni, sia in quelli esterni. Le torri, di forma conica ed alte trenta metri, hanno nelle sommità degli spruzzatori d'acqua che, a seguito dell'evaporazione, raffreddano l'aria presente nella parte alta della torre, e questa, aumentando di conseguenza la sua densità, scende verso il basso raffreddando l'aria del sottostante spazio esterno.

Illuminazione

L'altro importante contributo passivo che si può ottenere dall'energia solare riguarda l'illuminazione diurna di un edificio, sfruttando sia la luce solare diretta sia quella diffusa dalla volta celeste. Per incrementare la luminosità e favorire la penetrazione della luce naturale all'interno degli edifici sono molto importanti l'illuminazione zenitale, le condotte di luce e la capacità di diffusione luminosa dei materiali. Nuove tecniche sono particolarmente utilizzate nella progettazione di ambienti che hanno un uso prevalentemente diurno come uffici, scuole, edifici commerciali, industriali e ospedali, per i quali l'entità di consumi energetici derivanti dall'illuminazione artificiale rende più evidenti i vantaggi economici. Le moderne tecniche di daylighting vengono applicate negli edifici di abitazioni essenzialmente per ragioni estetiche e di benessere

Le caratteristiche principali che rendono preferibile la luce naturale a quella artificiale sono il suo rendimento nella percezione del colore e le variazioni nel tempo del colore, contrasto e luminanza di ogni superficie, caratteristiche che non possono essere simulate da nessun tipo di sorgente artificiale. Inoltre il flusso solare incidente, ad esempio in un m2 di finestra, è dell'ordine di alcune decine di migliaia di lumen, quanto basterebbe, se opportunamente distribuito, ad illuminare varie decine di metri quadrati di superficie di lavoro (i livelli di illuminamento richiesti sul piano di lavoro vanno da un minimo di 100 lux/m2 per le aree di servizio ad un massimo di 1.500 lux/m2 per le attività di alta

precisione).

Il flusso luminoso all'interno dell'edificio varierà a seconda del posto in cui si trova l'edificio stesso, l'ora del giorno, il periodo dell'anno, le condizioni climatiche del luogo, dalle ostruzioni che circondano l'edificio nelle immediate vicinanze (presenza di ostruzioni naturali o artificiali) e dall'indice di riflessione delle superfici esterne ed interne. Per ottenere buoni livelli di comfort visivo (ambienti in cui la ricezione dei messaggi visivi non è disturbata), è necessario assicurare buoni livelli di comfort luminoso all'interno degli spazi ed evitare assolutamente il cosiddetto fenomeno di abbagliamento, situazione creata dalla presenza nel campo visivo di superfici o punti con luminanza molto superiore a quella a cui l'occhio è abituato.

Sistemi solari passivi

I sistemi solari passivi per il riscaldamento si suddividono, in funzione della relazione esistente tra il punto di captazione di produzione del calore (guadagno) e il luogo di effettivo utilizzo, in:

- sistemi a guadagno diretto, in cui il calore viene generato direttamente all'interno dell'ambiente abitato;
- sistemi a guadagno indiretto, in cui il calore viene generato in uno spazio adiacente all'ambiente abitato;
- sistemi a guadagno isolato, in cui il calore viene generato in un punto distante dall'ambiente abitato.

Sistema a guadagno diretto

Il sistema a guadagno diretto è il più semplice ed è costituito da un edificio ben isolato con ampie finestre rivolte a sud. Le finestre permettono la trasmissione della radiazione solare invernale, incidente con bassa angolazione. In estate l'elevata altezza del sole riduce l'insolazione trasmessa, mentre una sporgenza può anche escluderla completamente. L'edificio, poi, necessita di una massa termica per accumulare il calore durante il giorno e rimetterlo durante la notte. Il concetto di guadagno diretto è la soluzione più comune per un edificio solare passivo: la radiazione solare entra nello spazio abitato e cade sulla massa dell'accumulo termico. In questo modo lo spazio abitato, avendo raccolto ed accumulato l'energia solare, si comporta come un collettore. Questo sistema, inoltre, sfrutta la geometria solare per assicurare il raggiungimento della massa termica da parte del sole d'inverno, e impedire il suo ingresso all'interno dell'edificio durante i mesi in cui si vuole perseguire il raffrescamento come obiettivo primario.

Tra i materiali per l'accumulo termico in muratura vi sono il calcestruzzo, i blocchi in cemento, i mattoni, la pietra e l'adobe, usati sia singolarmente che in varie combinazioni. Normalmente, almeno da una metà a due terzi della superficie totale di uno spazio sono in muratura massiccia per assicurare che ci sia abbastanza superficie di massa esposta per un adeguato assorbimento e accumulo di calore. L'accumulatore ad acqua, invece, è usualmente contenuto in una sola parete, disposta in modo che la luce diretta del sole la colpisca per la maggior parte del giorno. Nei climi in cui d'estate fa molto caldo di giorno, ma di notte la temperatura è bassa, la massa termica può anche mantenere fresco l'edificio.

Sistemi a guadagno indiretto

I sistemi a guadagno indiretto, invece, sono fondamentalmente due: i muri solari e i roof pond. La differenza tra questi due sistemi è data dall'ubicazione della massa termica che, nel primo caso, è contenuta in un muro, nel secondo è posta sul tetto dello spazio che viene riscaldato. In questi casi la radiazione solare colpisce una massa termica collocata tra il sole e lo spazio abitato; l'energia solare assorbita dalla massa è convertita in energia termica (calore) e poi trasmessa ai locali adiacenti. Gli elementi necessari per un sistema a muro solare sono quindi una superficie vetrata rivolta a sud, per il massimo guadagno termico solare d'inverno, e una massa termica, posta a circa 10 cm direttamente dietro la

vetratura, che serve da accumulatore e distributore di calore. Praticando nel muro delle aperture è possibile anche la distribuzione del calore per convezione naturale (termo circolazione) dalla faccia esterna del muro, ma solo durante il giorno e nelle prime ore della sera.

La superficie di accumulo viene riscaldata fino ad una temperatura di 65°C e cede calore all'aria nello spazio tra il muro e il vetro; attraverso le aperture in alto l'aria calda ascendente nell'intercapedine entra nella stanza richiamando contemporaneamente aria fredda dalla stanza attraverso le aperture in basso. Sostanzialmente le pareti solari in muratura e quelle d'acqua raccolgono e diffondono il calore allo stesso modo, con la differenza che nei muri d'acqua la trasmissione del calore attraverso il muro avviene per convezione invece che per conduzione. In entrambi i casi la superficie verso l'esterno è dipinta di nero o di un colore scuro per un massimo assorbimento solare. Nei sistemi a roof pond la massa termica è posta sul tetto dell'edificio. In questo caso l'acqua, chiusa in sottili sacchi di plastica, è sostenuta dal tetto e serve ugualmente per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo.

D'inverno, le masse d'acqua sono esposte al sole durante il giorno e poi coperte con pannelli isolanti durante la notte. Il calore accumulato viene poi irradiato direttamente dal soffitto allo spazio sottostante. D'estate la posizione dei pannelli isolanti viene invertita, le massa d'acqua quindi saranno raffreddate la notte e pronte ad assorbire il calore dello spazio sottostante il giorno successivo. Una serra addossata è sostanzialmente una combinazione di sistemi a guadagno diretto e indiretto: questa è costituita da una chiusura vetrata sulla facciata sud avente una massa di accumulo nella parete di separazione, o comunque all'interno della serra stessa.

L'uso di isolamenti mobili durante il periodo notturno aumenta, in tutti i sistemi citati, il rendimento energetico.

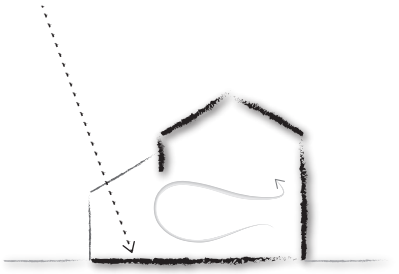


fig. 5.146 - *Schema a guadagno diretto*

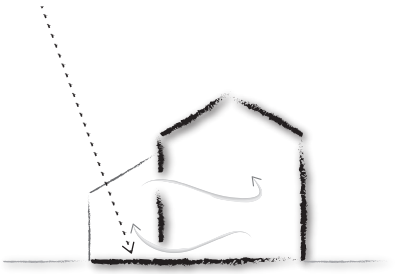


fig. 5.147 - *Schema a scambio convettivo*

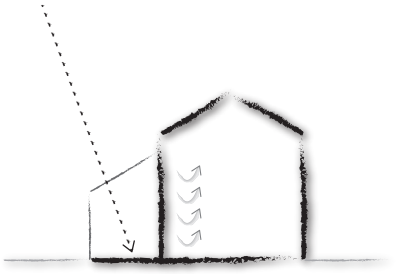


fig. 5.148 - *Schema a scambio radiante*

Sistemi a guadagno isolato

Il terzo approccio è costituito da sistemi a guadagno isolato; in linea di principio la captazione solare e l'accumulo termico sono isolati dagli spazi abitati. Questa relazione consente al sistema di funzionare indipendentemente dall'edificio, e il calore viene attinto dal sistema solo quando ce n'è bisogno. Se la superficie di captazione è separata dall'accumulo termico, il trasferimento del calore fra i due elementi avviene per termocircolazione naturale o anche direttamente, sempre per termocircolazione, dalla captazione allo spazio abitato. Un esempio di sistema isolato è costituito dal sistema Barra- Costantini che si può schematizzare in un collettore solare montato sulla facciata sud dell'edificio. L'aria riscaldata dal collettore viene convogliata in condotti posti nel soffitto che riscaldano la struttura.

Si viene quindi a determinare una termocircolazione naturale con conseguente trasferimento del calore della captazione (collettore) all'accumulo (soffitto) e all'ambiente interno. Il concetto fondamentale è costituito dal circuito a convezione naturale: i principali componenti di questo sistema sono il collettore piano e il serbatoio termoaccumulatore. Sono usati due tipi di mezzi termovettori e termoaccumulatori: l'acqua e l'aria con accumulatore termico di sassi.

Quando l'acqua o l'aria di un collettore viene scaldata dal sole, essa sale ed entra alla sommità del serbatoio, spingendo contemporaneamente l'acqua o l'aria più fredda dal fondo del serbatoio nel collettore.

Questa corrente convettiva naturale continua finché splende il sole. L'applicazione più semplice è forse lo scaldacqua solare a convezione naturale. Sebbene ci siano molte varianti, generalmente questo sistema è formato da un collettore piano collegato a un serbatoio d'acqua ben isolato mediante una tubazione, anch'essa ben isolata. Per permettere al fluido di circolare per convezione naturale, l'accumulatore è sempre collocato in una posizione più alta rispetto al collettore.

5.2.2 LA SERRA

Ogni sistema solare per il riscaldamento è fondamentalmente costituito da quattro sottosistemi: un sottosistema della captazione della radiazione solare, un sottosistema di accumulo dell'energia, un sottosistema di distribuzione dell'energia, un sottosistema di controllo dell'energia.

È necessario compiere una classificazione delle serre in tre sottocategorie in funzione della diversa natura del sottosistema di distribuzione. Va precisato che si tratta di una distinzione che tende all'astratto in quanto quasi sempre la serra presenta combinate insieme diverse modalità di trasferimento del calore. Possiamo comunque definire tre tipi di serre.

Nella serra *a guadagno diretto* la superficie di separazione tra serra e interno è regolabile e può essere rimossa in gran parte, o talvolta addirittura totalmente, per esempio attraverso ampi serramenti mobili. In questo modo, a serramenti aperti, la serra diviene un'estensione del locale retrostante, e il guadagno termico avviene direttamente dentro lo spazio abitato.

Nella serra *a scambio convettivo* lo scambio di calore avviene per convezione. Questo tipo di serra prevede lo sfruttamento dell'aria calda presente nella serra. Lo scambio convettivo avviene il più delle volte attraverso dei serramenti (di dimensioni più contenute rispetto a quelli della serra a guadagno diretto) posti nella superficie di separazione. Lo scambio convettivo può essere ottimizzato attraverso aperture regolabili collocate alla base e alla sommità della superficie di separazione, oppure da condotti, solitamente a ventilazione forzata, per lo scambio con locali non adiacenti alla serra.

Nella serra *a scambio radiante* la superficie di divisione è costituita da una parete ad accumulo non isolata, e lo scambio di calore avviene radiativamente con l'ambiente retrostante. Poiché generalmente ci troviamo ad operare in climi temperati, sarebbe scorretto trascurare la dinamica della serra durante i mesi sovrariscaldati. Se la funzione energetica della serra è quella di migliorare le prestazioni durante l'inverno, una progettazione di quest'ultima che consideri le dinamiche di funzionamento estivo può evitare scelte che possono causare il verificarsi di situazioni di discomfort e consentire l'uso della serra durante l'estate, sia come luogo da abitare sia come strumento per migliorare il comfort degli spazi interni.

A seconda della funzione che deve svolgere la serra, rispetto alla copertura, si possono avere due casi:

- copertura vetrata inclinata;
- copertura opaca con isolamento termico.

La prima ha un vantaggio estetico e di illuminazione, ma anche energetico in quanto permette di catturare una porzione di radiazione maggiore soprattutto grazie all'inclinazione; la seconda è più semplice da mettere in opera e da mantenere in buono stato, ha un maggiore livello di isolamento e protegge l'ambiente dalla radiazione solare in estate. Ovviamente i pregi dell'uno sono i difetti dell'altro, pertanto sarà opportuno valutare caso per caso, in base alle condizioni al contorno (sito, clima, ostruzioni esterne, progetto degli spazi interni, materiali, ecc.). Per migliorare l'efficienza energetica della serra si può intervenire sulla copertura studiando l'inclinazione; questa è nata per migliorare le proprietà di assorbimento, anche in situazioni di bassi livelli di luce, soprattutto diffusa. L'orientamento migliore per le coperture inclinate è ovviamente il sud, ma anche l'est e l'ovest che nelle stagioni intermedie accolgono i raggi del sole ad altezze maggiori rispetto all'inverno. Ricordiamo che la radiazione penetra maggiormente quando la superficie vetrata è perpendicolare ai raggi, quindi l'inclinazione dipende dalle coordinate geografiche del sito di progetto oltre che dagli orientamenti. Lo scopo progettuale è quello di trovare un angolo per la facciata sud che coincida il più possibile con l'angolo di incidenza ideale, in modo da sfruttare il massimo di radiazione invernale ed il minimo in estate.

Dal punto di vista della posizione della serra rispetto all'edificio possiamo distinguere tre tipologie:

- serra addossata;
- serra semincorporata;
- loggia o serra incorporata.

La principale differenza tra queste serre è costituita dalla presenza o meno di superfici laterali e superiori confinanti con l'esterno, le quali potranno essere opache o trasparenti.

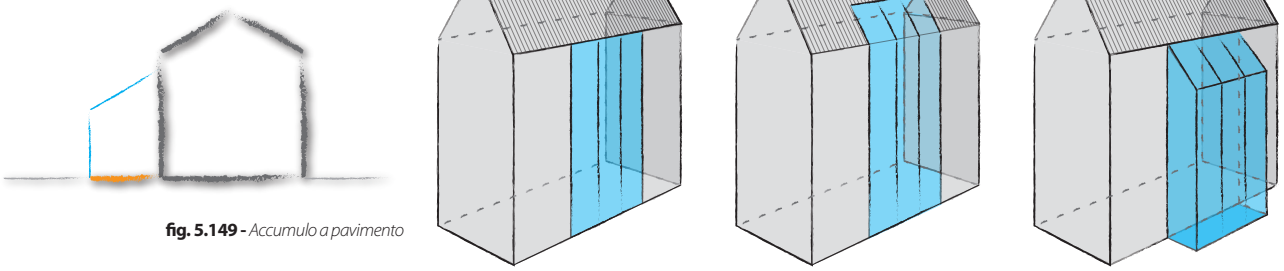


fig. 5.149 - *Accumulo a pavimento*

La serra addossata è costituita da un volume vetrato addossato al perimetro dell'edificio, per tanto condivide soltanto una delle quattro superfici verticali. Come tipologia risulta molto più diffusa nei paesi del centro e nord Europa e rappresenta l'unione di sistemi a guadagno diretto e indiretto; essendo riscaldata direttamente dai raggi del sole la serra funziona come un sistema a guadagno diretto mentre lo spazio adiacente riceve calore dal muro termo accumulatore che lo separa dalla serra. Fondamentalmente, la radiazione solare viene convertita in calore, e una parte di questo calore viene poi trasferito nell'edificio. In questo senso la serra addossata è semplicemente un sistema a muro solare, solo che lo spazio tra il muro e la vetratura, invece di essere di qualche decimetro, è largo qualche metro, o abbastanza per coltivarvi le piante o essere abitato.

fig. 5.150 - *Accumulo a parete*

Aprendo nel muro delle prese d'aria o delle finestre, l'aria calda della serra può essere fatta circolare, durante il giorno, negli spazi adiacenti. Per essere efficace come fonte di calore per l'edificio, la parete tra questo e la serra deve essere in grado di accumulare e rilasciare il calore in modo opportuno e solitamente è costituita da muratura, terra cruda o acqua. Le caratteristiche di questo tipo di serra sono: copertura vetrata o opaca con isolamento; pareti verticali vetrate o opache con isolamento (ad est o ovest); rapporto ottimale tra profondità e larghezza di 1:3; orientamento da sud-ovest a sud-est; superficie maggiore rispetto al volume; esposizione al vento.

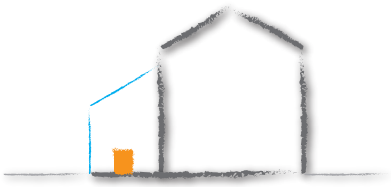


fig. 5.151 - *ccumulo centrale*

I problemi principali riscontrati risultano la dispersione del calore e il rischio di gelo notturno per cui è richiesto un sistema di difesa, il surriscaldamento estivo e la necessità di ombreggiamento soprattutto in caso di coperture vetrate.

In caso di coperture opache si raccomandano: aperture nelle vetrate per limitare il surriscaldamento estivo; sistemi di ombreggiamento regolabili per le pareti vetrate; pareti ad est e ovest opache o vetrate rispetto al clima e alla longitudine; materiali capaci di accumulare calore nella parete divisoria tra serra e abitazione e nel pavimento; eventuale installazione di lucernari nella copertura per l'illuminazione naturale degli ambienti confinanti; realizzazione impermeabile alle infiltrazioni d'aria (protezione dal vento). In caso di coperture vetrate invece: ombreggiamento della falda; grandi aperture soprattutto nella porzione superiore; pareti e pavimenti capaci di funzionare come accumulatori di calore; realizzazione impermeabile alle infiltrazioni d'aria. S

pesso viene progettato un sistema di ventilazione formato da prese d'aria all'altezza del pavimento attraverso le quali l'aria fredda della casa viene immessa nella serra e, quando questa si riscalda, sale verso altre bocchette posizionate nella parte alta del muro di separazione ed entra nuovamente negli spazi abitati, ma più calda. Dopo il tramonto il processo si inverte e per questo, in inverno, è necessario poter chiudere il sistema di

ventilazione. Durante l'estate, però, questo sistema viene utilizzato proprio la notte per raffrescare gli ambienti interni.

Anche il balcone vetrato può essere catalogato come serra addossata. Un punto debole di questi sistemi è la soletta, in quanto fuori terra, che deve essere ben coibentata per non diventare un problematico ponte di calore che crea condensa e disperde una grande quantità termica, soprattutto durante le fredde notti invernali. La copertura, inoltre, è bene che sia opaca per evitare il surriscaldamento estivo; questo è, infatti, un problema molto frequente a causa degli spazi ridotti che permettono l'innalzamento immediato della temperatura interna (è inoltre necessario avere serramenti apribili, possibilmente su lati opposti per aumentare la ventilazione trasversale, o addirittura smontabili).

La serra semincorporata può presentare le superfici laterali trasparenti oppure opache, inoltre sia queste ultime che la copertura potranno essere solo parzialmente inglobate nell'edificio; la scelta più corretta dipende dal variare di numerosi fattori caso per caso.

La serra incorporata: è completamente o in parte inglobata nel volume dell'edificio e le misure ottimali nella residenza sono 3x2,5 m (lunghezza e profondità). La possibilità di avere le pareti corte (solitamente est ed ovest) del tutto o in parte confinanti con ambienti interni riscaldati permette una minore dispersione ed una maggiore protezione dal vento. Al contrario, in estate, questa caratteristica non permette una ventilazione trasversale efficace come quella della serra addossata, perciò diventa necessario pensare ad un sistema di ombreggiamento adatto e, se possibile, a serramenti apribili in copertura oltre che verso l'esterno. La loggia vetrata rientra in questa categoria ma ha solitamente superfici minori (1,5 o massimo 2,5 m di profondità). Si tratta di una tipologia che si adatta bene anche ad interventi sull'esistente, su edifici multipiano in situazioni urbane a media ed alta densità.

Per quanto riguarda la posizione delle masse termiche queste dovrebbero essere collocate all'interno della serra in modo da essere direttamente esposte alla radiazione solare diretta. Per quanto contribuiscano anch'esse ad elevare l'inerzia termica, l'efficacia delle masse termiche non direttamente esposte, dette " secondarie", in regime invernale è notevolmente ridotta. Viceversa queste possono giocare un utile ruolo in regime estivo. Facendo una distinzione teorica in base alla posizione delle masse di accumulo si possono distinguere altri tre tipi di serra.

Nelle serre con accumulo a parete la radiazione solare invernale, con angoli zenitali tra i 20° e 40° sull'orizzonte, fanno si che la superficie maggiormente colpita dalla radiazione sia teoricamente la parete di fondo della serra. L'accumulo costituito quindi sfrutta l'ottimale angolo della radiazione. Inoltre in questo modo l'accumulo avviene in una posizione non a contatto con l'esterno, quindi più protetta dalle dispersioni, e consente, nel caso di serra a scambio radiante, lo sfruttamento dell'energia accumulata direttamente nel locale abitato retrostante la serra. Le serre con accumulo a pavimento sono consigliate nel caso in cui si abbia una serra a guadagno diretto, o particolarmente incassata o a loggia non sufficientemente alta. In molti casi l'accumulo a pavimento è ausiliario all'accumulo a parete. Per questa tipologia si dovrà fare particolare attenzione verso il terreno sottostante. In alcuni casi si può ricorrere a serre con accumulo centrale aventi masse termiche poste al centro della serra.

È il caso, per esempio, di serre particolarmente profonde, con dislivelli di quota, o di serre con accumulo ad acqua (sistema poco utilizzato).

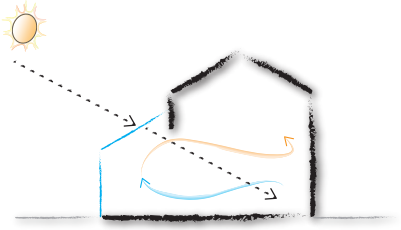


fig. 5.152 - *Regime invernale diurno*
Serra a guadagno diretto

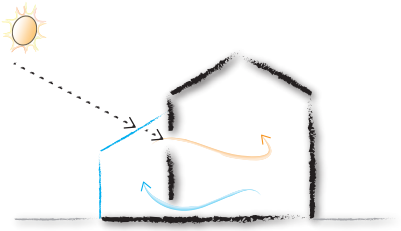


fig. 5.153 - *Regime invernale diurno*
Serra a scambio convettivo

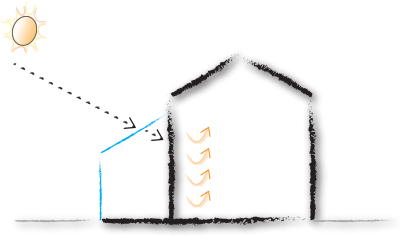


fig. 5.154 - *Regime invernale diurno*
Serra a scambio radiati vo

Regimi di funzionamento

I regimi di funzionamento della serra sono estremamente dipendenti dal clima, non è perciò possibile non considerare numerose variabili: la temperatura dell'aria esterna, la quantità e il tipo di radiazione, la presenza o meno del vento, la temperatura interna dell'ambiente abitato adiacente alla serra, la precisa destinazione d'uso della serra. È pertanto preferibile attuare regolazioni manuali di alcune parti della serra in modo da controllare il suo funzionamento in base alle condizioni climatiche variabili. È importante, inoltre, prevedere e progettare quale sarà il ruolo dell'utenza, per esempio non potrà

essere indifferente progettare una serra per una abitazione fissa o per una casa di vacanza. Semplificando possiamo avere quattro diversi funzionamenti annuali: invernale diurno, invernale notturno, estivo diurno ed estivo notturno.

Assetto diurno durante i mesi invernali

L'assetto diurno durante i mesi invernali è caratterizzato dall' obiettivo di massimizzare la captazione. La possibilità di captare l'energia è legata alla quantità di radiazione che raggiunge la superficie terrestre in un certo momento della giornata, ed è quindi condizionata dalla latitudine, dalle condizioni di copertura nuvolosa e dalla limpidezza dell'atmosfera. Nelle regioni del nord Italia, durante le ore centrali di una giornata serena invernale, potremmo avere valori di radiazione, misurati su una superficie verticale orientata a sud, che si aggirano intorno ai 300 Wh/m2, di cui circa l'80% è costituito da radiazione diretta. In una giornata nuvolosa i valori possono essere dimezzati con un rapporto del 50% circa di radiazione e in una giornata nebbiosa possono scendere sotto i 15 Wh/m2 con una percentuale del 100% di radiazione diffusa. L'assetto invernale captante è caratterizzato ovviamente dalla totale chiusura della parte dell'involucro trasparente. Le serre a guadagno diretto potranno essere connesse allo spazio adiacente solo quando la temperatura all'interno della serra sarà uguale o superiore a 18/20°C.

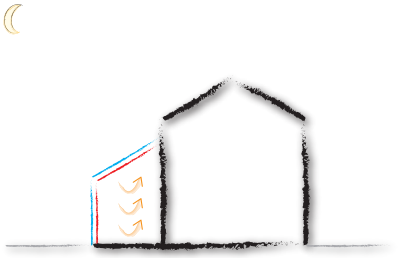


fig. 5.155 - *Regime invernale notturno*
Serra a guadagno diretto

Nel caso la temperatura non raggiunga i valori minimi la serra, costituendo uno spazio tampone, avrà comunque la funzione di ridurre le dispersioni verso l'esterno. Analogamente le serre a scambio convettivo attiveranno lo scambio d'aria con gli ambienti adiacenti solo quando la temperatura dell'aria nella serra sarà superiore a quella degli ambienti stessi. Lo scambio potrà avvenire attraverso serramenti apribili, attivazione manuale o automatica di valvole o griglie di ventilazione. Le serre a guadagno radiativo presentano una possibilità di regolazione meno precisa in quanto il muro di divisione serra/locale adiacente è costituito da un muro che scambia con gli ambienti circostanti principalmente in maniera radiativa. In questo caso il muro racchiude in sé la funzione di accumulatore e di sistema di distribuzione del calore. Durante il giorno, pertanto, bisognerà massimizzare l'esposizione del muro alla radiazione.

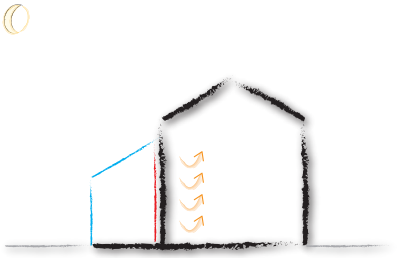


fig. 5.156 - *Regime invernale notturno*
Serra a scambio convettivo

Se la giornata sarà sufficientemente soleggiata e lunga da produrre il riscaldamento di tutto lo spessore murario fino a portare la superficie interna, verso il locale retrostante, ad una temperatura superiore a quella dell'aria e delle altre pareti del locale, il muro di accumulo comincerà ad irraggiare verso i corpi più freddi.

L'assetto notturno durante i mesi freddi è caratterizzato dall'obiettivo di minimizzare le dispersioni della serra verso l'esterno per ridurre il rapido raffreddamento dell'aria nella serra e delle masse termiche. La quantità di energia dissipata dipende dalle caratteristiche dell'involucro, in particolare la parte trasparente sarà la fonte principale di dispersione. A tal fine, oltre a disporre di serramenti che garantiscono una buona tenuta, è utile dotare la serra di dispositivi isolati mobili: solitamente tende isolanti o pannelli rigidi rimovibili.

fig. 5.157 - *Regime invernale notturno*
Serra a scambio radiativo

La posizione di questi dispositivi è legata al tipo di serra. Le serre a guadagno diretto dovranno possedere una buona capacità isolante in corrispondenza dell'intero involucro; poiché la serra stessa fa parte dei locali abitati, e potrebbe essere abitata anche durante le ore serali, le tende o i pannelli isolanti dovranno essere applicati preferibilmente sul lato interno dell'involucro trasparente. Nelle serre a scambio convettivo, quando la temperatura dell'aria all'interno della serra sarà scesa al di sotto di quella dei locali abitati, tale scambio dovrà essere interrotto. Sarà opportuno dunque, durante la maggior parte delle ore notturne, rendere non operanti tutti i dispositivi di scambio per ridurre al minimo le dispersioni di calore. Per la stessa ragione l'elemento di separazione serra/abitazione dovrà possedere una buona capacità di isolamento termico sia nelle sue parti opache che trasparenti.

Ad ogni modo la velocità di raffreddamento dell'aria della serra dipende dalle proprietà isolanti del suo involucro e pertanto anche in questo caso sarà opportuno utilizzare dispositivi di isolamento mobili applicati all'interno dell'involucro trasparente. Le serre a scambio radiante presentano maggiori problemi di controllo del flusso. L'elemento di

accumulo, in mancanza di radiazione, invertirà il flusso energetico emettendo energia verso la serra e raffreddandosi rapidamente. Di conseguenza è importante disporre di un sistema mobile di isolamento collocato sul lato verso la serra.

Nonostante la serra nasca principalmente come dispositivo per il vantaggio termico invernale, essa costituisce una espansione dell'abitazione sfruttabile per usi diversi secondo le stagioni. Una serra ben progettata e ben gestita costituirà un arricchimento dell'abitazione diventando, per esempio, un interessante spazio di relax o per la consumazione dei pasti durante le ore serali.

Assetto diurno durante i mesi estivi

Per poter funzionare correttamente durante i mesi estivi, la serra dovrà essere progettata attentamente e richiederà alcune regolazioni. Innanzitutto, durante il giorno, si cercherà di impedire alla radiazione solare di attraversare le superfici vetrate e di irraggiare le masse termiche generando l'effetto serra. Questo potrà essere realizzato, per esempio, attraverso dei sistemi di ombreggiamento esterni mobili a regolazione giornaliera o stagionale. L'ombreggiamento è particolarmente importante per serre dotate di copertura trasparente, la superficie orizzontale o inclinata infatti, date le angolazioni dei raggi solari estivi, è quella maggiormente esposta alla radiazione. Per la massima efficacia dell'ombreggiamento, però, questo dovrebbe essere in grado di schermare anche le altre superfici trasparenti esposte alla sola radiazione diffusa. I dati climatici italiani infatti mostrano che durante i mesi estivi la radiazione diffusa costituisce circa il 35% di quella globale e che la frazione di questa che colpisce le superfici verticali raggiunge livelli molto elevati in valore assoluto. Oltre a ciò, per evitare il generarsi dell'effetto serra, sarà necessario garantire la ventilazione della serra attraverso l'apertura dei serramenti, in modo da garantire una temperatura dell'aria interna mai superiore a quella esterna. Quantità e posizione dei serramenti apribili dovranno essere oggetto di attento studio in stretta relazione con le esigenze di fruibilità e la presenza di sistemi di ombreggiamento. Bisogna ricordare che la serra può funzionare come camino solare; dotando la serra di aperture attentamente calibrate nella parte inferiore e in quella superiore si può generare, durante le giornate calde, un moto d'aria ascendente che tende a creare una depressione all'interno della serra. Tale depressione può essere sfruttata per aspirare aria dalla casa ed espellerla attraverso la sommità della serra. Sfruttando delle aperture poste sul lato nord più fresco della casa si può ottenere, dunque, una ventilazione naturale degli ambienti dell'abitazione. Il flusso d'aria però, se da una parte genererà un miglioramento del comfort aumentando l'evapotraspirazione corporea, contemporaneamente tenderà a produrre, data la sua probabile temperatura elevata, il riscaldamento delle strutture della casa con conseguente peggioramento del comfort durante le ore notturne. Durante la notte bisognerà, quindi, garantire la massima dispersione energetica sia sotto forma radiante che sotto forma di convezione dalle masse termiche della serra verso l'esterno. Perché ciò accada sarà vantaggioso ritirare le schermature solari, che potrebbero funzionare come schermo alla radiazione, dalle masse termiche della serra verso il cielo. Inoltre, bisognerà ricercare la massima apertura dell'involucro della serra in modo da ottenere il massimo flusso d'aria attraverso la casa e attraverso la serra. A tale scopo potrà essere utile studiare i moti d'aria caratteristici del sito e in particolare le brezze presenti in siti con acqua o rilievi topografici. In generale si suggerisce, per le serre addossate, di sfruttare sempre le aperture nella sommità della copertura ed eventuali aperture sui fianchi dell'involucro.

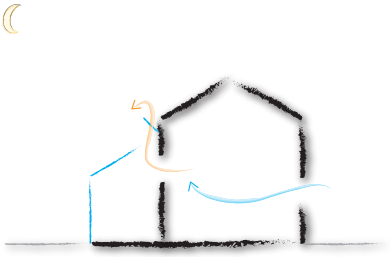


fig. 5.158 - *Regime estivo diurno Serra a guadagno diretto*

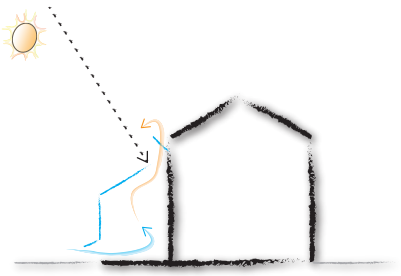


fig. 5.159 - *Regime estivo notturno Serra a guadagno diretto*

Assetto diurno durante le mezze stagioni

Di particolare importanza sono le mezze stagioni. La quantità di energia captata offre il giusto confort termoigrometrico durante il giorno e attraverso la ventilazione nelle ore notturne è possibile evitare il surriscaldamento degli ambienti interni. i sistemi di schermatura devo consentire il maggior passaggio possibile di radiazione termica e luminosa durante il giorno.

5.2.3 LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE

Come già detto nel primo capitolo, la serra è nata come spazio da dedicare alla coltivazione di piante e fiori, ma con l'andar del tempo ha acquistato nuovi ruoli proprio per questa capacità di realizzare uno spazio abitativo confortevole, dotato di grande valenza estetica, ma anche di avere una funzione energetica grazie al suo ruolo di accumulatore di calore nel periodo invernale. L'ampia superficie vetrata di una serra tradizionale comporta una notevole dispersione di calore, il che richiede l'uso di impianti di riscaldamento tradizionali per l'intero edificio, costosi e che consumano molta energia. La serra classica era originariamente destinata all'uso nelle pianure europee. Il clima invernale temperato e nuvoloso imponeva una struttura il più possibile trasparente che permettesse la massima captazione della radiazione diffusa. Queste strutture sono poi state copiate con pochissime trasformazioni, per l'uso in quasi tutti gli altri climi. Nei freddi climi nordici, ad esempio, il sole rimane nel cielo meridionale per tutto l'inverno. Per questa ragione la parete nord trasparente di una serra tradizionale contribuisce in modo notevole a disperdere calore, mentre la radiazione solare captata è, d'inverno, del tutto trascurabile. La principale differenza tra la serra classica e quella solare è, dunque, la sua progettazione in base alle condizioni climatiche ed in concreto, come spiegato sopra, la chiusura della parete nord con un tamponamento opaco che isoli la struttura.

Vi è anche un altro fattore da tenere in considerazione: la loro utilizzazione dipende dall'utenza e può quindi essere sporadica, temporanea o permanente. Nel primo caso lo spazio serra viene utilizzato come zona di accesso, corpo scale o zone di servizio per cui non si richiedono temperature costanti. Nel secondo caso la serra ha bisogno di una temperatura più o meno costante in quanto la sua utilizzazione è maggiore nelle stagioni intermedie, e può essere utilizzata come spazio di ricreazione dei bambini, per il giardinaggio, ripostiglio o altro ancora.

Nel caso di serra ad utilizzo permanente bisogna far sì che questa non comporti problematiche di accumulo o dispersione eccessiva di calore in alcune stagioni; un utilizzo più assiduo fa sì, ovviamente, che la progettazione debba essere più minuziosa e attenta ad ogni periodo dell'anno.

Dal punto di vista energetico il posizionamento della serra viene scelto essenzialmente in base all'orientamento che permette di guadagnare il massimo calore. Per l'utente, invece, il posizionamento dipende da più fattori. Il progettista dunque dovrà essere in grado di collocare questo spazio in modo da far combaciare tutte le necessità: energetiche, funzionali, economiche, di privacy, ecc.

Tra i vari sistemi solari passivi, la serra è tra quelli che fornisce il più basso rendimento di captazione. Nonostante ciò è il sistema passivo più frequentemente utilizzato, proprio per la sua natura di impianto abitabile. Se progettare la serra significa progettare uno spazio abitato è cosa ben diversa dalla progettazione di un impianto di riscaldamento. Si tratta di una progettazione architettonica nella quale devono però essere considerate e comprese tutte le conseguenze energetiche delle scelte tecniche, formali, spaziali.

"Il progetto solare si discosta dal concetto di casa come elettrodomestico e si avvicina di più ad un'idea di casa come veliero, che, anche quando supertecnologico, richiede la sensibilità e l'intelligenza dell'utente per funzionare. Non si può nascondere in questo una latente valenza educativa. Contro un utente che ignori gli effetti delle proprie azioni sull'ambiente, l'architettura solare propugna l'idea di un uomo consapevole dei fenomeni naturali e delle dinamiche dell'ambiente che lo circonda". C. Zappone in "La Serra Solare", 2009

"La serra solare è una versione incapsulata del processo vitale su questo pianeta, e forse, da questo punto di vista, l'uomo può imparare ad accettare la terra come la sua serra solare, e interessarsi maggiormente della qualità della vita che lo circonda"

C.Heeschen in Mc. CULLAGH J. C., Il libro delle serre solari, Padova, 1979

Orientamento

Le scelte sull'orientamento della serra e delle sue singole componenti sono indubbiamente le più importanti ai fini del suo buon funzionamento. In generale la serra deve essere orientata verso la principale direzione di provenienza della radiazione; per noi che ci troviamo nell'emisfero boreale, quindi, verso sud. Quando questo non è possibile vi sono due aspetti da valutare: l'angolo di rotazione sul piano orizzontale di tutto il sistema serra e gli ostacoli al contorno che possono ostruire la radiazione in alcuni periodi dell'anno. Si tratta di due elementi spesso dettati dal contesto e non sempre correggibili; se non vi sono le condizioni per un buon orientamento la serra potrebbe non avere la capacità di fornire un guadagno termico significativo nei giorni invernali, e addirittura potrebbe essere la causa di discomfort estivi.

In genere, in tutte le latitudini da 32° a 56°, le facciate esposte a sud ricevono d'inverno una radiazione solare pari a tre volte quelle rivolte ad est e ovest, mentre d'estate accade il contrario in quanto il sole è più alto sull'orizzonte. Si può ovviare ad alcuni problemi attraverso l'inclinazione dei vetri. Se la radiazione diffusa costituisce una notevole parte della radiazione globale, le differenze per angoli deviati dal sud geografico saranno ancora minori. Ricordiamo però che la maggiore trasparenza a est, rispetto che a ovest, è spesso utilizzata per evitare il surriscaldamento estivo e anticipare il riscaldamento in inverno; in estate il sole "più caldo" è quello del pomeriggio in quanto l'aria è più calda che al mattino, viceversa d'inverno si cerca di scaldare l'aria interna che durante la notte ha perso tutto il calore del giorno prima.

Prima di tutto, l'installazione corretta della serra prevede una adeguata analisi della radiazione solare disponibile nell'arco di tutto l'anno. La variabilità degli andamenti meteorologici (pioggia, vento, nuvolosità e foschia) influisce sul funzionamento della serra in maniera preponderante; pertanto è necessario valutare il clima locale e capire se è adatto al sistema serra. Se il clima, inoltre, è caratterizzato da forti escursioni termiche e forte irraggiamento diretto, il bilancio termico ad est e ovest risulterà sfavorevole. Lo studio dei venti, infine, serve per capire come e dove posizionare i sistemi di protezione (barriere frangivento, ma anche ostacoli naturali). L'orientamento a volte impone dei compromessi tra la capacità massima di assorbire calore dal sole e altri parametri del clima locale. Da ciò è facile comprendere che ogni intervento sul territorio è unico, e una serra con una determinata forma, volume, involucro non può funzionare allo stesso modo in un contesto differente.

Per quanto riguarda la parete sulla quale la serra si addossa ricordiamo che nei climi temperati la superficie verticale rivolta a sud riceve la massima quantità di radiazione nei mesi invernali, ma riceve il minimo di radiazione nei mesi estivi; perciò non è causa di eccesso di radiazione nei mesi estivi. Di conseguenza la parete verticale orientata verso sud è la più vantaggiosa in termini di bilancio tra energia captata nei mesi invernali ed in quelli estivi. La massima intensità di radiazione su di una superficie si ha quando l'angolo di incidenza della radiazione sulla superficie è pari a 0°, ovvero quando la radiazione è perpendicolare a questa superficie. L'angolo di incidenza (g) è definito come l'angolo tra un vettore normale alla superficie e il vettore della radiazione solare; è la combinazione dell'angolo azimutale (α) con l'angolo zenitale (β) ed è dato dalla formula:

$$g = \cos^{-1}[\cos(a) \cdot \cos(\beta)]$$

Incidenze comprese entro i 35° permettono di catturare più dell'80% dell'intensità massima della radiazione. È opportuno che la parete di fondo riceva la radiazione diretta delle giornate invernali con angoli di incidenza il più possibile piccoli; questo significa che dovrebbe essere orientata a sud e, se verticale, avere, per le latitudini italiane, una rotazione rispetto al sud geografico tra 25° est o 25° ovest. Ricordiamo che comunque non tutta la radiazione incidente potrà essere accumulata in quanto in parte sarà riflessa e in parte diffusa. La superficie trasparente, al mutare dell'angolo di incidenza, rifletterà verso l'esterno una percentuale di radiazione differente. La caratteristica di riflettanza varia anche in funzione del materiale, dello spessore (oltre 2 cm però il parametro rimane pressoché invariato) e del numero di strati. Un angolo di incidenza maggiore di 40°

provoca però un rapido decremento della trasmittanza.

Si raccomanda quindi di disporre la superficie trasparente con una possibilità di variazione angolare massima di +/- 30° rispetto al sud per poter captare dal 55 al 75% della radiazione solare diretta complessiva per unità di superficie nelle ore centrali di una giornata invernale. Si raccomanda, inoltre, di fare attenzione all'orientamento sud-ovest, fonte di sovrariscaldamento estivo. A questo proposito alcuni autori consigliano a ragione un orientamento leggermente declinato verso est, che preserva la serra dal surriscaldamento nelle giornate soleggiate nei periodi più caldi delle stagioni intermedie. Le superfici vetrate orientate a est e a ovest possono essere considerate solo spazi tampone in quanto il loro contributo al riscaldamento è da considerarsi trascurabile, ma vantaggioso per la riduzione delle dispersioni. Durante i mesi estivi dovranno essere opportunamente schermati poiché maggiormente colpiti dalla radiazione solare rispetto al prospetto sud.

Forma

L'utilizzo della serra come sistema solare passivo ha lo scopo principale di riuscire a trasmettere il calore accumulato durante la giornata agli spazi adiacenti, cercando allo stesso tempo di limitare i problemi di discomfort. A questo proposito la serra non è più considerata come spazio a sé, ma parte di un sistema; è opportuno, quindi, considerare il rapporto tra volume dell'edificio e volume della serra, solitamente le forme compatte sono quelle più efficienti. La soluzione ottimale per la funzionalità e l'abitabilità della serra è quella di utilizzare un rapporto tra profondità e larghezza di 1:3; oltre al rapporto con l'intero involucro è importante anche valutare la dimensione della serra stessa, sia per il grado di illuminazione degli spazi interni, sia per ottenere il giusto rapporto accumulo/dispersione.

Vi sono poi sistemi che possono migliorare il funzionamento della serra, ma che variano rispetto al sito: la vegetazione come schermatura solare, la depressione del terreno per la protezione dai venti freddi, specchi d'acqua per la riflessione dei raggi in inverno e il raffrescamento estivo, ecc.

Un ulteriore modo di classificazione è in base dallo sviluppo volumetrico e si possono avere serre lineari, puntuali, verticali e orizzontali.

- serre lineari: la forma è stretta e lunga, sono tipiche degli edifici in linea di cui seguono tutta l'estensione, si pensi ad esempio alle logge vetrate caratteristiche di molte costruzioni multipiano.
- serre puntuali: si tratta di piccole serre in cui la larghezza non prevale tanto sulla profondità. Sono molto diffuse nelle abitazioni monofamiliari o nei balconi sotto forma di terrazzi vetrati.
- serre verticali: in questo caso l'altezza è maggiore delle altre dimensioni, ma molto raramente una serra supera i due piani perché diverrebbe difficile controllarne il funzionamento.
- serre orizzontali: questo tipo di serra è caratterizzata analogamente da una lunghezza superiore all'altezza.

Dimensionamento delle vetrate

La complessità degli scambi termici tra serra ed edificio pone una serie di problematiche riguardo al dimensionamento. Se è correttamente dimensionata, la serra provvede al proprio riscaldamento e a quello degli ambienti ad essa adiacenti. Le varianti sono tuttavia numerose e richiedono conoscenze intersettoriali e sperimentali; la latitudine, il clima, la massa di accumulo termico, i materiali, gli isolanti, ecc. contribuiscono ad una logica complessiva di funzionamento. E' tuttavia possibile fornire alcuni suggerimenti di massima: utilizzare nei climi freddi invernali (temperatura media invernale da -7 a 0°C) da 0,19 a 0,38 m2 di superficie vetrata ogni m2 di superficie adiacente abitata; nei climi temperati (temperatura media invernale da 2 a 7°C) da 0,11 a 0,25 m2 di superficie vetrata ogni m2 di superficie adiacente abitata. Il sistema serra funziona, con queste proporzioni,

in modo da accumulare l'energia in eccesso per mantenere se stessa e lo spazio adiacente ad una temperatura media tra i 18 e 21 gradi.

In condizioni di clima temperato e in una giornata invernale di sole, una serra solare addossata raccoglie più energia di quella necessaria al suo riscaldamento; l'energia in eccesso può essere trasmessa per conduzione attraverso la parete in comune tra serra ed edificio o per convezione all'aria degli spazi abitati adiacenti.

Bisogna quindi dimensionare anche le bocchette di aerazione; la dimensione totale di quelle inferiori dovrebbe essere pressappoco uguale a quella superiore, la superficie complessiva di ciascuna fila deve corrispondere ad 1m2 ogni 100 m2 di superficie del muro.

Se il sistema si basa sullo scambio termico attraverso il muro di separazione in comune tra serra ad ambiente interno, il rendimento di tale meccanismo è condizionato principalmente dai seguenti fattori: spessore del muro, superficie del muro, materiale di costruzione del muro, colore della superficie esposta alla radiazione solare.

Spessore del muro

Dipende dalla conduttività del materiale. Rispetto a questo parametro possiamo dire che lo spessore ottimale aumenta proporzionalmente alla conduttività (attenzione a non causare l'innalzamento della temperatura in momenti sbagliati). Ricordiamo che la conduttività e l'isolamento sono proprietà indirettamente proporzionali, perciò un materiale più isolante avrà bisogno di spessori inferiori. Inoltre, per quanto riguarda il muro ad acqua, possiamo dire che uno spessore inferiore a 15 cm fa sì che il muro si surriscaldi durante il giorno e di conseguenza riscaldi troppo l'ambiente interno. È necessario far riferimento anche all'andamento giornaliero delle temperature; in funzione dello spessore, la temperatura degli ambienti interni varierà durante le ore del giorno e della notte.

Colore della superficie

Importante è ricordarsi che maggiore è l'assorbimento di energia solare sulla parete esterna del muro, maggiore sarà la quantità di calore trasmessa allo spazio interno attraverso la muratura. Variando la colorazione possiamo variare la percentuale di assorbimento rispetto alle nostre esigenze. La riflessione invece è la quantità di radiazione non assorbita dalla superficie. Questa frazione di radiazione non assorbita dalla superficie è quindi riflessa nello spazio adiacente, e può servire ad aumentare il calore presente all'interno della serra. Pertanto è consigliabile avere un muro d'accumulo di colore scuro e il resto delle pareti della serra di colore chiaro.

Materiale

Nei climi temperati e moderatamente freddi (Temp .media invernale 2-7 °C) la serra raccoglie più calore di quello necessario a raggiungere la temperatura di comfort interno (variabile caso per caso, circa 20-25°C), pertanto possono venire utilizzati muri in pietra che permettono un significativo sfasamento termico in modo da accumulare il calore di giorno e rilasciarlo di notte.

Questo sistema è sfruttato anche nei climi freddi e in posizioni differenti (sotto il pavimento). Oltre al calcestruzzo, ai mattoni, all'acqua e alla terra cruda vi sono altri particolari materiali con cui vengono costituiti muri di accumulo come la grafite e l'acciaio. Quest'ultimo, ad esempio, ha una capacità termica inferiore solo del 15% a quella dell'acqua. Ovviamente però l'acciaio è pesante e costoso e viene quindi utilizzato in barre o lamine entro muri in calcestruzzo; si potrebbero addirittura usare gli scarti metallici e, quindi, riciclare parte di materiale edile per migliorare la capacità di accumulo dei muri in calcestruzzo. La grafite, invece, assorbirà il calore molto rapidamente, ma allo stesso tempo lo cederà velocemente in quanto satura subito termicamente; si può aumentare lo spessore del muro per ovviare a tale problema, tuttavia tale soluzione è poco utilizzata. Rispetto all'acciaio, però, è leggera. Le cere e i sali idrati vengono da

tempo studiati al fine di utilizzo come accumulatori di calore; queste sostanze hanno la più alta capacità d'accumulo per unità di volume rispetto ai materiali fino a qui citati (anche 8 volte rispetto all'acqua), tuttavia dopo un certo periodo tendono a rimanere allo stato liquido e a non cedere più il calore in modo ottimale.

Dispersione

La natura intermittente dell'energia solare dovuta all'andamento meteorologico ci impone di accumulare e conservare la maggior parte di calore possibile per poi utilizzarla nei periodi più critici. L'energia solare è la fonte primaria della serra ed entra sottoforma di radiazione solare a onde corte (luce), ma quando viene assorbita dalle piante e dalle altre superfici all'interno della serra viene trasformata in energia termica (calore). La radiazione solare copre gran parte del fabbisogno termico della serra, se quest'ultima è progettata in modo corretto; bisogna riuscire, però, a bilanciare in modo ottimale la luce (che non deve abbagliare) e il calore (che deve essere sufficiente a far funzionare la serra).

Il calore può essere perduto dalla serra in diversi modi: irraggiamento, convezione, conduzione, infiltrazioni ecc. Occasionalmente una serra può avere un guadagno termico per conduzione o per infiltrazione d'aria, principalmente d'estate, quando la temperatura esterna è superiore a quella interna. All'interno della serra, la convezione contribuisce indirettamente alla dispersione di calore dalla serra trasmettendo il calore dalle zone più calde a quelle più fredde, ad esempio dal suolo o dalle piante riscaldate dal sole alla superficie fredda della vetratura. Quest'ultima disperde allora il calore verso l'esterno per conduzione, e inoltre lo reirradia sia verso l'interno che verso l'esterno. Il calore della serra viene facilmente disperso se le condizioni meteorologiche cambiano, infatti, in presenza di vento si crea un'alta pressione sul lato esposto al vento e una bassa pressione sul lato riparato. Questo provoca una depressione all'interno della serra, e l'aria viene risucchiata all'interno attraverso le fessure. La presenza di un riparo artificiale o naturale e l'unione di un sistema di doppi vetri hanno ridotto la presenza di condensa che contribuiva oltre che a disperdere calore, anche a ridurne la trasparenza.

Dispersione attraverso i vetri

Per quanto riguarda la dispersione di calore della serra risulta fondamentale progettare attentamente i serramenti (intelaiatura, vetri e guarnizioni). È importante mantenere un equilibrio tra l'isolamento usato per le varie parti opache della serra, ma la vetratura solitamente comporta il 60% delle dispersioni di calore e pertanto l'attenzione ad essa risulta maggiore. Alcune materie plastiche usate per la vetratura sono trasparenti alle radiazioni a onda lunga, così come lo sono alla luce. In una serra dove si utilizzano componenti del genere le perdite per irraggiamento possono avere un ruolo importante. Il vetro, la fibra di vetro e le resine acriliche sono opache alla radiazione a onda lunga, ma sono buoni conduttori di calore. Negli spessori comunemente usati la resistenza termica di trasmissione del calore è fornita dallo strato d'aria su entrambe le superfici della vetratura: perciò per massimizzare questo tipo di resistenza si usano strati multipli. Il primo atteggiamento progettuale, e forse quello più significativo, è il corretto dimensionamento della frazione trasparente. Le sole dispersioni per irraggiamento non sono un fattore importante nella dispersione globale, tranne quando si utilizza polietilene, ma l'effetto della conduzione e del re-irraggiamento del calore della vetrata, una volta che questa ha assorbito il calore per conduzione o convezione, può essere minimizzato in molti modi. Strati multipli di vetratura riducono di molto la quantità di calore dispersa grazie alle intercapedini d'aria o di altri gas isolanti che impediscono le perdite per conduzione e convezione. L'irraggiamento dallo strato più interno a quello esterno, inoltre, diminuisce con il diminuire della temperatura dei vari strati. L'unico scopo è quello di riuscire a far entrare più radiazione possibile e disperderla nel maggior tempo possibile. Per ritardare la dispersione si cerca di utilizzare dei buoni isolanti mobili durante la notte o le giornate molto fredde e cupe. Oltre alle dispersioni attraverso i serramenti, il calore può essere disperso attraverso il terreno: anche se sappiamo che la terra rimane ad una temperatura

costante (13°C circa ad una profondità inferiore a 5 m), i bordi confinanti con la serra sono un punto debole. Inoltre è bene ricordare che la terra è sì un buon isolante, ma non se è umida; bisogna dunque conoscere l'andamento della falda freatica sottostante e, se alta, assicurarsi un buon sistema di drenaggio e di canalizzazione dell'acqua piovana.

Dispersione attraverso infiltrazione e ventilazione

In generale le fessure non sono solo un punto debole; la loro presenza infatti serve ad avere un buon ricambio d'aria, ma la serra solare richiede che il flusso sia controllato per sfruttare appieno il calore. Per questo il ricambio d'aria deve essere fatto cercando di ridurre le perdite di calore per convezione controllando le infiltrazioni nei punti critici tramite le guarnizioni e le battute dei serramenti, le soglie, i telai. Inoltre, a seconda della forma, della superficie e dell'esposizione ai venti, il livello di scambio termico per infiltrazione cambia sostanzialmente.

Sistemi di ombreggiamento

Come già detto più volte, uno dei problemi più importanti da affrontare nel periodo estivo, ma anche in inverno per quanto riguarda l'abbagliamento, è il controllo della radiazione solare entrante. Sebbene d'estate la radiazione diretta che colpisce la superficie vetrata rivolta a sud abbia un angolo di incidenza radente alla superficie con conseguente perdita di potenza, essa è comunque sufficiente a creare surriscaldamento. I sistemi di ombreggiamento, che possono essere mobili o fissi, sono dunque fondamentali. Le schermature fisse però, anche se ben progettate, non sono quasi mai sufficienti a soddisfare sia la necessità di protezione estiva che di captazione invernale, pertanto si consiglia di unire tali sistemi ad elementi regolabili.

Tra le schermature fisse più utilizzate troviamo gli aggetti orizzontali posti sopra la vetratura. Perché questi non interferiscano eccessivamente con la captazione invernale devono essere studiati in base all'inclinazione dei raggi relativa alla propria latitudine. In Italia, generalmente, si può dire che l'aggetto deve essere lungo circa la metà delle altezze delle aperture che sovrasta.

Un altro sistema è costituito dalle pareti frangisole, che sfruttano lo stesso principio degli aggetti orizzontali, sviluppatesi anche per rispondere alla questione della protezione, al fine di evitare le effrazioni e allo stesso tempo di regolare la luce, di controllare gli effetti dell'irraggiamento solare e di assicurare il comfort termico in estate. Questa necessità di protezione ha favorito lo sviluppo di pareti traforate in legno (o altri materiali), composte da tavole il cui passo è calcolato per lasciare entrare i raggi di sole in inverno e bloccare la loro penetrazione in estate. Queste pareti creano un filtro tra interno ed esterno che evita l'abbagliamento. Il loro sviluppo è legato anche alle ricerche degli architetti sulle relazioni tra interno ed esterno e sulle interferenze tra spazio pubblico e spazio privato: esse creano un'atmosfera interna dominata da una luminosità smorzata e proteggono l'intimità pur permettendo di guardare verso l'esterno. Come le persiane mobili (scorrevoli, pieghevoli, o rotanti), le pareti frangisole forniscono una soluzione alle necessità di protezione, di gestione energetica dell'edificio e di movimento delle facciate. Le ombre portate, il disegno, il movimento generato dalle variazioni dell'irraggiamento solare animano il rivestimento esterno dell'edificio. Per facilitare la fabbricazione e la posa in opera, e dunque ridurre i costi, la creazione di un modulo ripetitivo, fissato ad un riquadro in legno massiccio o in metallo, rappresenta spesso una soluzione intelligente.

Tra le schermature mobili troviamo sistemi interni ed esterni alla vetrata, ma è fondamentale ricordare che la radiazione, in estate, deve essere intercettata prima che entri nell'ambiente in quanto, se così non fosse, l'effetto serra non verrebbe evitato. Pertanto le tende interne sono sconsigliate, anche se hanno la capacità di evitare il riscaldamento diretto delle masse termiche. Allo stesso modo sono sconsigliati i serramenti con doppio vetro e veneziana nell'intercapedine, costosi e scarsamente efficienti. Gli schermi esterni paralleli alla vetrata consentono quindi, a parità di materiale e in presenza di un medesimo tipo di vetrata, una prestazione solare totale superiore poiché intercettano la radiazione

solare prima che questa raggiunga il vetro, e pertanto ne bloccano un parte maggiore ed evitano l'effetto serra all'interno dell'ambiente. Va però ricordato che tali sistemi sono efficaci sia sulla radiazione diretta che su quella diffusa, ma possono diminuire una buona ventilazione. Inoltre, sistemi come persiane esterne (impacchettabili o scorrevoli) e tende avvolgibili, per la loro presenza all'esterno dell'involucro, possono interferire con il disegno della facciata. Vanno perciò progettati in modo da aggiungere significato architettonico e non come semplici sistemi tecnologici apposti: i movimenti delle persiane possono animare la facciata, nella quale la proporzione tra vuoti e pieni viene continuamente ricomposta.

"Quando immagina un'opera l'architetto traccia nella sua mente l'insieme delle norme progettuali che rendono concreta un'idea complessiva. Iniziando dalle ragioni ambientali e urbanistiche che costituiranno il programma del suo intervento, egli esplora il disegno di architettura per terminare con le scelte di pratica esecutiva.(...) Come all'interno di un gigantesco insieme mosso dalle ragioni della natura, queste soluzioni acquistano un valore compositivo in sinergia tra tecnologia e linguaggio."

M. Visconti in S.BRIVIO "Schermature solari e tende tecniche", 2010

Riassumendo, la tipologia, la dimensione e il modello operativo del dispositivo di protezione solare devono essere correlati alle condizioni e quantità di radiazione solare diretta, diffusa o riflessa incidente sulla superficie da proteggere. Lo schermo ideale deve bloccare la radiazione solare ma non ostruire la vista esterna e la ventilazione naturale attraverso le lastre. La differenza sostanziale tra le varie soluzioni è nel principio di funzionamento del corpo schermante:

- schermi con telo continuo opaco, efficaci nel bloccare le due componenti diretta e diffusa della radiazione solare e luminosa, ma che riducono la ventilazione e la vista esterna;
- schermi con telo filtrante, efficaci sulla componente diffusa e meno sulla diretta (a seconda del fattore di apertura);
- schermi con telo a segmenti orientabili, o a lamelle, efficaci nel regolare sia la radiazione diretta che la diffusa in modo micrometrico e gestire le due componenti in funzione delle condizioni ambientali;
- schermi con segmenti fissi, efficaci sulla radiazione diretta ma insufficienti a controllare la parte diffusa o riflessa incidente.

5.3 ORTO E COLTIVAZIONE

La coltivazione e la cura di un orto personale è tradizionalmente legata alla possibilità di avere un piccolo appezzamento di terreno spesso fuori città. Le moderne tecnologie consentono oggi di assecondare questa passione anche per coloro i quali non hanno questa fortuna. Sono stati inventati sistemi che permetto la crescita di alcune piante, essenze ed aromi anche in spazi ridotti ma soprattutto senza più aver bisogno di un ampio piano orizzontale su cui coltivare. L'orticoltura oggigiorno può essere infatti sviluppata anche senza l'ausilio del suolo. Per coltivazione idroponica e aeroponica s'intendeono proprio quelle tecniche di coltivazione fuori suolo: la terra è sostituita da un substrato inerte (argilla espansa, perlite, vermiculite, fibra di cocco, lana di roccia, zeolite, ecc.). La pianta viene irrigata con una soluzione nutritiva composta dall'acqua e dai composti (per lo più inorganici) necessari ad apportare tutti gli elementi indispensabili alla normale nutrizione minerale. La tecnica è altrimenti conosciuta con il termine di Idrocoltura. La coltura idroponica consente produzioni controllate sia dal punto di vista qualitativo sia igienico-sanitario durante tutto l'anno.

Il terreno

Il ruolo del terreno nei confronti delle piante si può ricondurre fondamentalmente a tre funzioni:

- Fisico-meccanica: il terreno permette l'ancoraggio delle piante proteggendo l'apparato radicale dagli agenti atmosferici che possono interferire con la sua vitalità (umidità atmosferica, illuminazione, insolazione).
- Trofica: il terreno è l'ambiente fisico che in condizioni naturali fornisce alla pianta quasi tutti gli elementi minerali di cui ha bisogno attraverso l'assorbimento radicale. Solo il carbonio e l'ossigeno sono assunti con la nutrizione carbonica, prelevando l'anidride carbonica dall'aria attraverso le aperture stomatiche delle foglie.
- Ecologica: la rizosfera è la parte della biocenosi del terreno che ha rapporti più o meno diretti con l'apparato radicale della pianta. Tali rapporti sono la risultante di un sistema complesso di antagonismi e sinergismi. Fra gli antagonismi si citano le interazioni con fitofagi, parassiti, fitopatogeni, agenti di allelopatie) o, più semplicemente, la competizione con altri vegetali che occupano la stessa nicchia ecologica. Fra i sinergismi si citano le interazioni con simbionti mutualistici e con gli agenti di stimolazioni.

La tecnica colturale convenzionale può ottimizzare solo in parte le funzioni del terreno:

- Le lavorazioni e l'apporto di ammendanti possono migliorare lo stato di sofficità del terreno favorendo l'approfondimento delle radici. L'impiego di tutori, pali e fili di sostegno migliora l'ancoraggio delle piante.
- L'apporto di fertilizzanti (concimi, ammendanti, correttivi) e l'irrigazione sono operazioni che, adeguatamente integrate in una tecnica che ne sfrutti le sinergie, migliorano le condizioni trofiche del terreno. Tali interventi possono però essere in parte vanificati dalla complessità del sistema terreno, che manifesta sempre una reazione omeostatica attiva o passiva all'intervento antropico: le perdite temporanee o definitive di acqua ed elementi minerali (insolubilizzazione, lisciviazione, adsorbimento, assorbimento biologico, evaporazione, ecc.), causate da fattori atmosferici (evaporazione), meccanici (permeabilità, porosità) e fisico-chimici (scambio ionico, potenziale di ossidoriduzione, pH, tensione matriciale e osmotica, ecc.). Tali fattori, presi nel complesso, sono di difficile controllo ai fini dell'ottimizzazione della tecnica. La difficoltà di ottimizzazione è aggravata dal fatto che concimazione e irrigazione sono interventi discontinui e che non si adattano con la dinamica dei fabbisogni delle piante nelle diverse fasi fenologiche.
- La tecnica coltura convenzionale ha un notevole impatto sull'ecosistema tellurico trasformandolo in un agroecosistema. Il terreno naturale è riconducibile ad

uno stadio di climax in cui la biodiversità è in grado di mantenere un equilibrio interno e garantire il naturale esaurimento del flusso di materia ed energia. L'agroecosistema è riconducibile ad un ecosistema in evoluzione in cui gli interventi agronomici generano un surplus di risorse in termini di energia e materia. La finalità di questo surplus è di indirizzare completamente il flusso di energia e materia nella produzione agraria, tuttavia crea le condizioni temporanee favorevoli all'ingresso di organismi che possono avvantaggiarsi. La ridotta capacità di reazione omeostatica dell'agroecosistema fa sì che gli organismi che s'insediano sono quelli a più elevato potere biologico (elevato potenziale di riproduzione, resistenza a condizioni avverse, ecc.). In questo insediamento tendono a prevalere gli organismi antagonisti della specie agraria, in quanto la dinamica evolutiva di un ecosistema porta spontaneamente ad un incremento della biodiversità. Alcune tecniche di agricoltura non convenzionale (produzione integrata, agricoltura biologica, sod seeding, ecc.) sfruttano la funzione ecologica del terreno, ma per le sue prerogative l'agricoltura convenzionale deve fare a meno di questa funzione in quanto si manifesta solo come antagonista.

Coltivazione fuori suolo

Le coltivazioni fuori-suolo si basano in sostanza su una riduzione delle variabili in gioco e, soprattutto, delle reciproche interferenze sostituendo al terreno un ambiente fisico in cui i parametri sono di più facile controllo.

Nel caso della coltivazione idroponica la soluzione di concetto si concretizza nei seguenti quattro punti:

- La funzione di protezione delle radici nei confronti degli agenti atmosferici è svolta da un substrato solido inerte e tendenzialmente asettico. Il substrato non ha alcuna funzione di ancoraggio. Il requisito di base è quello di un grado di porosità sufficiente a permettere la circolazione della soluzione nutritiva e ospitare i capillizi radicali. Il volume a disposizione per ogni pianta perde importanza in quanto la concentrazione della soluzione nutritiva crea in uno spazio ridotto le condizioni ottimali per l'assorbimento radicale. In altri termini, la pianta non ha bisogno di espandere l'apparato radicale perché viene meno la funzione di ancoraggio e trova nelle immediate vicinanze l'acqua e i sali minerali di cui ha bisogno. È importante, invece, fare in modo che il volume a disposizione di ogni singola pianta non sia eccessivo in rapporto alla superficie: dal momento che le radici sono sommerse, gli scambi gassosi con l'atmosfera avvengono per diffusione in mezzo liquido, pertanto le radici devono trovarsi quasi a contatto con l'atmosfera per evitare fenomeni di asfissia radicale. In alcune tecniche di coltivazione idroponica il substrato è dunque integralmente sostituito da un sottile film liquido nel quale si sviluppano le radici.
- La funzione di ancoraggio viene sostituita, se necessario, da un sistema di fili che tengono sospese le piante mantenendole in situ. In altri termini, l'ancoraggio della pianta è garantito fissandone l'apparato aereo ad un sistema di sospensione.
- La funzione trofica del terreno è surrogata integralmente dall'apporto di una soluzione nutritiva per mezzo di un impianto di fertirrigazione, nel quale l'acqua irrigua è utilizzata come vettore dei sali minerali. Il substrato deve essere chimicamente inerte al fine di evitare interferenze di fattori chimici (es. scambio ionico e pH) con i parametri controllati attraverso la fertirrigazione.
- La funzione ecologica del terreno è completamente annullata dall'idroponia. Dal momento che non esistono i presupposti per la creazione di una biocenosi favorevole, il substrato che surroga il terreno è del tutto inerte dal punto di vista biologico e il mezzo ospita esclusivamente le radici delle piante allevate. Rispetto alle tecniche convenzionali, l'idroponica manifesta da questo punto di vista significativi vantaggi in quanto si rimuove all'origine il contatto con gli

agenti patogeni del terreno (in particolare Nematodi, agenti di marciumi basali e di tracheomicosi). Questi fattori avversi obbligano l'agricoltura convenzionale a ricorrere all'avvicendamento colturale in pieno campo e alla geodisinfestazione in coltura protetta. In ogni caso le piante allevate in coltura idroponica manifestano in genere un migliore rigoglio vegetativo e offrono produzioni più elevate non solo per il controllo dello stato nutrizionale ma anche per il migliore stato sanitario. Naturalmente queste considerazioni esulano dalle avversità che si ripercuotono sull'apparato radicale aereo.

Parametri di controllo

I parametri di controllo essenziali sono quattro:

- pH: è fondamentale per mantenere lo stato di solubilità degli elementi e ottimizzare i processi di scambio fra le radici e la soluzione nutritiva. Un pH che si discosta dal range ottimale peggiora lo stato nutrizionale delle piante per l'immobilizzazione chimica o fisiologica di uno o più elementi minerali.
- Conducibilità elettrica: è il parametro con cui si controlla la concentrazione della soluzione nutritiva. Una conducibilità bassa è correlata ad un'eccessiva diluizione della soluzione, pertanto le piante si trovano in condizioni di nutrizione minerale carente. Fasi di fertirrigazione temporanee a conducibilità elettrica bassa sono tollerate anche per tempi relativamente lunghi ma si ripercuotono negativamente sia sulla resa quantitativa sia sulle proprietà organolettiche del prodotto. Una conducibilità eccessivamente elevata è correlata ad un'elevata concentrazione della soluzione e ad una tensione osmotica eccessivamente alta (in valore assoluto): entro le soglie critiche le piante manifestano sofferenza e consumano risorse energetiche per vincere il potenziale osmotico a scapito della resa produttiva, oltre le soglie critiche l'assorbimento radicale si arresta con conseguenti fenomeni di appassimento o avvizzimento. Fasi di fertirrigazione temporanee a conducibilità elettrica elevata sono tollerate solo per tempi brevissimi in quanto le specie più sensibili possono avvizzire in poche ore.
- Portata, tempi e cicli di erogazione: sono i parametri con cui si controlla nel complesso la nutrizione minerale attraverso il ricambio della soluzione a contatto con le radici. Erogazioni troppo frequenti e volumi troppo alti (in relazione alla portata e alla durata delle erogazioni) innalzano i costi economici ed ambientali in quanto l'eccesso di soluzione si perde con il drenaggio a meno che l'impianto non sia provvisto di un sistema di riciclo della soluzione in eccesso. Erogazioni diradate e volumi troppo bassi riducono le rese produttive perché lo stato nutrizionale delle piante non è ottimale.
- Composizione chimica della soluzione: è il parametro con cui si controlla il bilancio nutrizionale delle piante comparato nei vari elementi nutritivi, i rapporti di antagonismo fra potassio e metalli alcalino-terrosi, la solubilità dei vari sali. Dal momento che le piante necessitano di rapporti di concimazione differenti in relazione alla specie, al tipo di produzione e al rapporto resa quantitativa e qualitativa del prodotto, la composizione della soluzione è fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi. Per la preparazione delle soluzioni vanno impiegati concimi ad alta solubilità in acqua. La preparazione deve rispettare una priorità nella sequenza partendo dai sali meno solubili e sono da preferire i fertirrigatori che usano due soluzioni madri, mantenendo separati i sali meno solubili da quelli più solubili. Per alcuni microelementi sono da preferire i formulati Chelanti.

fig. 5.160 - *Lattuga*

fig. 5.161 - *Pomodori*

fig. 5.162 - *Peperoni*

fig. 5.163 - *Zucchine*

fig. 5.164 - *Basilico*

fig. 5.165 - *Altre essenze*

Vantaggi

La coltivazione fuori suolo presenta degli evidenti vantaggi in situazioni ambientali dove il substrato non è in condizione di far crescere la coltura in modo ottimale, come ad esempio roccia o terreni eccessivamente sabbiosi. Un altro vantaggio di questo tipo di coltivazione è il minor utilizzo di acqua per ottenere il medesimo risultato, indicativamente di un decimo rispetto alla coltura in terra, rendendo questo sistema particolarmente utile in quelle situazioni ambientali dove la scarsità di acqua rende difficile o addirittura impossibile la coltivazione di ortaggi. Da non sottovalutare l'aspetto ambientale visto che l'utilizzo dei fertilizzanti è mirato e non ci sono dispersioni nel terreno; l'utilizzo di diserbanti è assente, mentre l'utilizzo di antiparassitari è decisamente ridotto.

Piante, essenze ed altri aromi

Lattuga

La lattuga è l'ortaggio più semplice da coltivare e quindi facile da gestire anche per i principianti dell'orticoltura. Necessita dai 35 agli 80 giorni per maturare completamente a seconda delal varietà che si vuole piantare. Servono impianti sequenziali per garantire la fornitura continua.

Varietà disponibili:

- liscia: è la lattuga più caratteristica;
- romana: ha forma allungata ed un sapore più deciso;
- gentile: ha le foglie ondulate, di colore verde intenso, oppure rossicce;
- iceberg: forma molto compatta, foglie estremamente croccanti, dal colore chiaro, sapore molto delicato;
- incappucciata: forma tonda e foglie di colore verde chiaro.

Pomodori

Il momento giusto per piantare le piantine di pomodori è quando il tempo inizia a riscaldarsi, e non c'è più pericolo di gelate. Questo perché le piantine di pomodoro hanno bisogno di 8 ore di sole al giorno, a temperature tra i 18 e i 29 gradi. Quando le piante sono in fioritura, è possibile facilitare l'allegagione dei frutti scuotendo leggermente verso mezzogiorno le aste di sostegno e le corde per favorire la caduta del polline. Per le piante nane o a cespuglio questo trattamento non è necessario. Non iniziate a concimare fino a che i primi frutti non abbiano iniziato ad ingrossarsi, usate un buon fertilizzante liquido di tipo adatto

Varietà disponibili:

- pomodoro tipo cuore di bue/gigante;
- pomodoro tondo liscio;
- pomodoro tipo costoluto;
- pomodoro tondo rosso a grappolo;
- pomodoro tipo cocktail;
- pomodoro tipo ciliegino /cherry;
- pomodoro tipo datterino;
- pomodoro tipo a piennolo;
- pomodoro tipo san marzano;
- pomodoro tipo allungato;
- pomodoro tipo roma.

Zucchina

Le zucchine sono ortaggi ideali per chi è a dieta, dato l'elevatissimo contenuto di acqua e il basso apporto calorico, e per combattere la stipsi. Sono ricche di vitamine A, C e anche di carotenoidi, e quindi si rivelano utili contro l'invecchiamento, nella prevenzione dei tumori, e per favorire l'abbronzatura. La semina delle zucchine avviene di solito a

dimora, procedendo poi al diradamento, anche se in certi casi (zucchine precoci) si semina in vasetti singoli. La semina in vaso avviene in aprile e prevede di utilizzare 2-3 semi a contenitore (poi si procede al diradamento) oppure un singolo seme pre-germinato, a una profondità di 2 cm. La pre-germinazione si ottiene ponendo i semi su carta da cucina umida e lasciandoli a 21° per 2-3 giorni. I vasetti vanno lasciati a 18° in posizione molto illuminata e dopo 5-6 settimane, quando le plantule avranno 3-4 foglie. E' importante effettuare la potatura dei rami laterali tra maggio e giugno, quando sono lunghi 60 cm, per favorire la formazione dei getti sub-laterali fioriferi, e sarchiare il terreno durante tutto il ciclo colturale per scoraggiare le infestanti a meno che non ci sia una pacciamatura permanente. Se la varietà è di tipo rampicante si devono fornire supporti adeguati. Il coltivatore biologico può consociare le zucchine con fagioli rampicanti, mais, cipolle, rape rosse oppure nasturzio. La raccolta dei frutti avviene prima che i fiori appassiscano, quando sono lunghi 10-20 cm circa, o nel caso di zucchine tonde quando hanno un diametro di 10-15 cm al massimo, oppure appena spuntate quando le si vuole consumare crude.

Varietà disponibili:

- le zucchine lunghe, le più diffuse nei mercati europei. Il frutto è generalmente cilindrico, più raramente piriforme. Il colore più comune è il verde scuro, anche se esistono varietà verdi chiare (comunemente chiamate "romanesche"), striate, e persino dalla buccia completamente bianca o gialla. Tra le cultivar ascrivibili a questa tipologia si possono segnalare lo Zucchino Nero di Milano, a buccia verde assai scura, lo Zucchino Fiorentino, a buccia striata e assai scanalata, lo Zucchino Siciliano, leggermente piriforme e a buccia verde molto pallida.
- le zucchine tonde, dal frutto sferico. Queste cultivar sono tutte di colore verde eccetto alcuni ibridi F1. Da citare: Tondo di Piacenza, di colore scuro; Tondo di Nizza, più chiaro e appiattito ai poli; Tondo di Firenze. Questa tipologia è molto apprezzata in cucina per ricette che richiedano un ripieno, dal momento che la forma si presta in modo ottimale.
- le zucchine patisson (dette in inglese patty pan o ufo squash), dalla forma lobata e un gusto più deciso di quello delle zucchine comuni, che ricorda vagamente il cuore di carciofo. Le cultivar disponibili sono numerose, ma simili tra loro. Buona parte di esse è di origine francese. Generalmente si distinguono in base ai colori: ci sono cultivar gialle, arancioni, verdi chiare, verdi scure, bianche e variegate (in francese panaché).
- le zucchine eccentriche, che hanno una forma non riconducibile alle altre tipologie. Da segnalare la varietà Crookneck, dal frutto a collo d'oca e buccia gialla, affine alla cultivar detta "rugoso friulano".

Peperoni

Esistono numerose cultivar di peperone, che si distinguono per le caratteristiche del frutto: può essere dolce o piccante, piccolo o grande, di forma cuboidale, conica, piramidale, allungata o corta, di colore rosso, giallo, verde, bruno o scuro. È molto sensibile al freddo, quindi va seminato in febbraio in cassone riscaldato. Bisogna scegliere un seme proveniente da piante a frutti sani, per evitare rischi di virosi. I trapianti si eseguono una volta superati i rischi di gelate tardive, con una densità di 2,5-3,5 piante/m2, in file distanziate di 90-100 cm, con piante a 30-50 cm l'una dall'altra. I sesti più ampi garantiscono migliori condizioni di arieggiamento e luminosità. La raccolta avviene in modo scalare.

Varietà disponibili:

- peperone quadrato: peperone magnum, peperone magnigold, peperone jolly rosso, peperone jolly giallo;
- peperoni allungati : peperone brace, peperone costadoro, peperone trebbia;
- peperone tipo topepo: peperone topepo rosso;
- peperoni a corno di toro: peperone diablo, peperone ringo, peperone corno di

toro giallo, peperone alce;
- peperoni a corno di capra;
- peperoni friggitelli: peperone dolcetto, peperone friggitello;
- peperoncini piccanti lunghi: peperone piros, peperone cheyenne, peperone salomon;
- peperoncino piccante tondo: peperone rodeo, peperone fuego.

Altre essenze

Altre essernze o piante aromatiche sono coltivabili in spazi ristretti secondo questa tipologia di coltivazione:
- basilico;
- origano;
- menta;
- crescione;
- rosmarino.

5.3.1 IMPIANTO DI IRRIGAZIONE

In questi ultimi anni la coltivazione indoor ha conosciuto una rapida evoluzione passando dalla coltivazione classica in terra alla coltivazione fuori terra ovvero su substrati inerti (privi di nutrimenti). In questo tipo di coltivazione la pianta non assorbe i nutrimenti dal substrato ma direttamente dalla soluzione nutritiva (acqua con fertilizzanti in soluzione) che viene fatta circolare attraverso un sistema di irrigazione.

Esistono differenti tipologie di impianto quali, l'idrocoltura in vasche con sistemi di gocciolamento alimentati da pompe ad aria o ad immersione (flusso e riflusso), sistemi NFT (tecnica del film nutritivo) e sistemi areoponici. I più utilizzanti sono caratterizzati dal ciclo chiuso: la soluzione nutritiva viene riciclata in maniera continua o intermittente.

I substrati più indicati per questo tipo di coltura sono l'argilla espansa, la lana di roccia, la perlite e il cocco.

I vantaggi offerti da questo tipo di coltivazione sono:
- possibilità di aumentare le rese a mq;
- sviluppo in fase vegetativa e di fioritura più veloce con conseguente riduzione dei consumi elettrici a causa di una minore esposizione delle piante alla luce artificiale;
- possibilità di migliorare qualitativamente la resa delle piante grazie ad una attenta alimentazione idrica, nutrizionale e una maggiore ossigenazione dell'apparato radicale;
- minor accumulo di sali nel substrato;
- minor volume di substrato utilizzato rispetto alla coltivazione in terra.

Gli svantaggi offerti da questo tipo di coltivazione sono:
- necessità di un più rigoroso controllo dell'impianto (controlli frequenti del pH e dell'EC);
- maggior possibilità di stress idrico e nutrizionale dovuto al ridotto volume del substrato utilizzato nel caso si verifichi un interruzione prolungata della corrente elettrica;
- maggior costo iniziale dell'impianto.

I substrati piu' utilizzati

I substrati ideali per la coltivazione idroponica devono presentare le seguenti caratteristiche fisico-chimiche:
- leggerezza;
- buona capacità di contenimento dell'aria e dell'acqua;
- elevato potere tampone e pH vicino al 6;

- assenza di parassiti ed elementi patogeni;
- facilità di riutilizzo.

I substrati utilizzabili possono essere di natura organica come la fibra cocco o di natura minerale come la lana di roccia trattata per fini agrotecnici (Grodan), la perlite e l'argilla espansa.

La fibra di cocco

Questo substrato è derivato dalla lavorazione del mesocarpo del cocco. Le sue qualità sono la leggerezza (85 kg/mc), l'elevata porosità e la sua capacità di trattenere una buona quantità di acqua mantenendosi comunque molto areato. Il pH oscilla tra 5,5 e 6,5 e la conducibilità (EC) è minore di 0.4 ms/m. Prima del suo utilizzo è consigliabile dilavarlo con acqua al fine di eliminare eventuali residui salini. Può essere riutilizzato per diversi cicli colturali previo lavaggio ed eliminazione delle radici. Sul mercato è disponibile in panette pressate e sacchi con dimensioni standard di 100x15x7. La durata media è di 2-3 anni, ma per il suo riutilizzo è necessario usare dei biocatalizzatori in grado di sanificarlo dalle radici morte.

Lana di roccia

E' un materiale inerte molto leggero derivato dalla fusione di minerali. Ha una struttura fibrosa con elevata porosità (90% del volume) e, grazie a trattamenti con composti bagnanti (detensioattivanti), ha una notevole ritenzione idrica (80% del volume). I blocchi vanno immersi in acqua con pH 5,8 prima di essere utilizzati e poi irrigati regolarmente. La durata media è di 3 anni, ma per il suo riutilizzo è necessario usare dei biocatalizzatori in grado di sanificarlo dalle radici secche. Il suo pH tende all'alcalino e va corretto con acqua a pH leggermente inferiore (pH 5,8). Il suo utilizzo è indispensabile per la semina delle piantine che coltivate in idroponica. Facile da reperire poiché disponibile in varie tipologie per soddisfare differenti bisogni colturali. Per la semina e il taleggio si utilizzano i cubetti 4x4x4; questi poi vengono inseriti nei cubetti 7,5x7,5x7,5 quando si intravedono le prime radici è possibile introdurli nel substrato che porterà la pianta a maturazione. Questo substrato può essere anche utilizzato per portare le piante alla maturazione; per questo scopo è possibile utilizzare le lastre con misura 100x15x7,5 o il prodotto sfuso.
Quello in lastre è un substrato indicato per impianti dedicati alla fioritura delle talee, infatti permette di avere piantamenti molto fitti raggiungendo densità di 33 talee a metro quadro.

Argilla espansa

E' un materiale minerale di origine industriale, si trova in commercio sottoforma di particelle sferoidali con la superficie costellata da pori ed è caratterizzata da una grande stabilità chimica e una lunga durata. Possiede una buona inerzia chimica, il suo pH iniziale è intorno al 7 - 8 a causa dei residui di calcio, questi possono essere eliminati con lavaggi preliminari con acqua tiepida. Viene anche utilizzato all'interno dei substrati di cocco e perlite per aumentare il drenaggio. E' consigliabile utilizzare i granelli con forma irregolare e granulometrie piccole (3-6 mm).

La perlite

E' un materiale di origine industriale, di tipo granulare, spugnoso molto leggero, bassa ritenzione idrica e di media stabilità chimica. A causa della sua elevata porosità e della scarsa ritenuta idrica questo substrato deve essere alimentato frequentemente con irrigazione a goccia, per garantire una umidità adeguata. Viene utilizzato puro come substrato per la radicazione delle talee o miscelato al cocco (1 parte di perlite su 2 di cocco) per equilibrare le caratteristiche fisiche dei cocco. Rispetto alla perlite questi mix consentono di innalzare la ritenzione idrica e l'inerzia chimica (maggiore stabilità del pH).

I principali impianti coltivazione

Sistemi a flusso e riflusso o DWC

La coltivazione avviene in vasi di plastica fessurati sul fondo e riempiti di argilla espansa. La soluzione nutritiva viene distribuita alle radici tramite un sistema di gocciolamento superficiale e per gravità drena attraverso i granuli di argilla espansa idratandole. La soluzione viene recuperata all'interno di una cisterna dove è possibile controllare il pH e la conducibilità (EC). Il gocciolamento può avvenire attraverso delle pompe ad immersione o aereatori. Nel sistema con pompe ad immersione la soluzione nutritiva vene spinta all'interno di un sistema di tubi fino ad arrivare al piede della pianta. Nel sistema con areatore la soluzione nutritiva viene sospinta suo substrato attraverso una pompa ad aria. Il grande vantaggio di questo sistema è che le radici vengono irrorate di acqua ricca di ossigeno quindi la velocità dello sviluppo radicale una volta raggiunta la riserva d'acqua nella vasca è velocissimo e permette quindi alla pianta una crescita rapida e rigogliosa in poco tempo.

Di contro questo eccezionale sviluppo radicale può portare a dei problemi se non controllato e gestito nella maniera corretta; infatti le radici possono crescere occupando l'intera vasca ostruendo cosi i distributori di ossigeno presenti al suo interno e creando una situazione di soffocamento radicale che portata alle estreme conseguenze può far morire l'intera pianta. Un buon consiglio è quindi di controllare settimanalmente lo stato degli ossigenatori ed eventualmente liberarli dalle radici anche a costo di tagliarne dei pezzi e non meno importante di dare a ogni pianta un volume utile d'acqua nella vasca di non meno di 15-20 litri.

Sistemi NFT (tecnica del film nutritivo)

Negli impianti NFT la soluzione nutritiva circola direttamente a livello radicale, scorre in canalette opportunamente inclinate e raccordate da un sistema di drenaggio che fa confluire la sostanza nutritiva in una cisterna centralizzata da cui attraverso una pompa, avviene la distribuzione. Le cabalette devono essere sufficientemente rigide e con una pendenza (2%) tale da assicurare il deflusso della soluzione che vi scorre al disopra.

In commercio esistono differenti tipo di canaline in PVC; I più usati sono i vasi di Lybra e i bancali Edd and Flood. La soluzione può circolare ad intermittenza o i modo continuato. La dimensione della cisterna deve essere di almeno 30 litri a mq. Le piantine vanno allevate precedentemente nei cubetti di lana di roccia e poi riposte sulle canaline.

Questo sistema è indicato per coltivazione di talee e permette piantamenti molto densi (30 piantine a mq).

Aereoponica

Rappresenta la semplificazione + estrema di un sistema idroponico, con pochissimo substrato a livello radicale e con un minimo impiego di soluzione nutritiva, che viene riciclata continuamente e vaporizzata sulle radici. Vista il ridotto volume del substrato occorre coltivare piante con dimensioni molto ridotte, e quindi consigliato per portare a fioritura le talee.

La soluzione nutritiva

La soluzione nutritiva costituisce il mezzo liquido da cui le radici prelevano il loro fabbisogno idrico e minerale. Quando si opera su substrati inerti la soluzione nutritiva deve contenere tutti gli elementi minerali in una soluzione a pH intorno a 5.8 e alla giusta concentrazione salina (EC). Gli elementi indispensabili per un buon apporto nutrizionale sono N, P, K, Ca, Mg Fe, Mn, e vari altri microelementi. Il pH misura l'acidità di una soluzione acquosa, cioè la concentrazione di ioni idrogeno, il suo valore ottimale è 5.9, ma sono accettabili delle variazioni di +/- 0,4 punti.

Valori di pH troppo bassi diminuisce la disponibilità di calcio e magnesio mentre con valori troppo alti diminuisce la disponibilità di fosforo e provoca rapidamente carenze

di microelementi (soprattutto il ferro). Pertanto è importantissimo che il valore del pH rimanga il più possibile costante entro i valori sopra indicati.

La variazione del pH nella soluzione nutritiva è in funzione dell'assorbimento selettivo di alcune molecole di fertilizzante, dal rilascio di alcuni escreti radicali e di CO_2 da parte delle radici e dalla presenza di carbonati nell'acqua di irrigazione. Questi fenomeni portano ad un innalzamento del valore del pH. Per abbassare il valore del pH occorre utilizzare sostanza acide come acido nitrico, acido fosforico o solforico.

L'innalzamento del pH, che tuttavia e necessario raramente, può essere ottenuto con carbonato di potassio o di calcio. Il suo valore può essere misurato con dei pH test a reazione chimica come le cartine tornasole e i liquidi di contrasto o utilizzando degli strumenti digitali (pHmetri); quest'ultimi permettono una misurazione più rapida e precisa.

La concentrazione salina è misurata con degli strumenti digitali chiamati conduttivimetri o misuratori EC espressa in mS/cm , il suo valore ideale oscilla tra 1.4 e 1.8 mS/cm nelle prime fasi di sviluppo sino al 1.7/2.1 mS/cm in fioritura.

La concentrazione salina della soluzione nutritiva può essere :

- abbassata , aggiungendo acqua senza fertilizzanti;
- alzata ,aggiungendo fertilizzanti.

ANALISI CLIMATICA

il clima milanese

capitolo 06

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di progetto è situata nel Comune di Milano in via Palermo, a occidente del bacino dell'Alta Pianura Padana, ed è caratterizzato da un clima temperato continentale delle medie latitudini o subcontinentale secondo la classificazione di Koppen. Questo è contraddistinto da temperature miti, piogge intense e frequenti durante i mesi primaverili ed autunnali; gli inverni sono piuttosto freddi e secchi mentre le estati sono caratterizzate da temperature abbastanza elevate e scarse precipitazioni.

Come in tutte le grandi città del mondo, l'effetto isola di calore innalza le temperature rispetto alle campagne circostanti. Infatti i quartieri centrali godono di minime lievemente più alte (+2÷3 °C) rispetto alle aree periferiche che risentono delle masse di aria fredda ed umida ristagnanti sulle campagne; inoltre i quartieri meridionali della città sono più frequentemente interessati dalla nebbia durante l'inverno, così che, talvolta, in caso di nebbia fitta, le zone centrali e meridionali della città presentano temperature massime inferiori fino a 2 °C rispetto alla campagna circostante.

Le temperature minime in inverno nel centro risultano più alte che in periferia, e in estate questa differenza si attenua.

I dati di progetto e le coordinate geografiche per Milano sono:

- Altitudine 122 m.s.l.m.
- Zona altimetrica Pianura
- Latitudine 45° 28' 38" N
- Longitudine 09° 10' 53"E

Di seguito sono riportate le informazioni riguardanti la caratterizzazione dei venti, delle precipitazioni, dell'umidità relativa, dell'irradianza e delle temperature che interessano l'area del Comune di Milano.

6.2 PARAMETRI E CONDIZIONI CLIMATICHE

A seguito di un'analisi accurata delle fonti accessibili per il reperimento dei dati climatici dell'area di Milano, sono state definite attendibili e rilevanti ai fini progettuali i monitoraggi eseguiti dalle seguenti stazioni metereologiche:

- Milano Linate
- Milano Malpensa
- Milano via Juvara
- Milano osservatorio di Brera

opportunamente integrati con i valori forniti da:

- dati climatici annuali 2011 I.S.T.A.T. (Istituto Nazionale di Statistica)
- U.N.I. (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)
- C.T.I.2000 (Comitati Termotecnico italiano, Energia e Ambiente)
- A.R.P.A. Lombardia

Di seguito si analizzano le temperature dell'aria esterna medie giornaliere orarie, medie mensili e medie annuali del periodo di tempo compreso tra il 1990 e il 2011.

6.2.1 LA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

Il clima è caratterizzato da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie basse in inverno (0°÷4 °C) ed alte in estate (le temperature massime estive oscillano tra i 25 °C ai 30 °C). Inoltre, nella stagione fredda, le temperature minime raggiungono anche diversi gradi al di sotto dello zero nelle ore notturne, e talvolta rimangono negative o prossime allo zero anche durante le ore centrali della giornata (specialmente in caso di nebbia); nella stagione invernale, infatti, proprio a causa del ristagno dell'aria, le temperature massime si attestano su valori decisamente bassi: in alcuni casi si possono registrare, anche se di poco, giornate di ghiaccio ossia con valori termici che restano negativi.

In estate ed in caso di anticiclone sub-tropicale, invece, le temperature massime possono toccare punte di +38° e talvolta superiori.

Temperature medie giornaliere e orarie

L'andamento delle temperature è influenzato dai valori di intensità della radiazione solare, che risultano meno intensi nei mesi invernali e più pronunciati nella stagione estiva.

tab. 6.1 - *Temperature medie giornaliere di Milano*

gg	Mese											
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Sett**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
1	2,9	7,4	3,3	9,4	17,1	23,1	23,2	23,0	20,9	15,5	13,5	6,6
2	3,0	7,0	2,3	11,1	14,7	24,0	22,8	24,0	23,1	15,6	12,5	5,8
3	0,7	10,0	2,3	8,4	14,0	21,2	23,3	24,5	25,0	16,5	11,0	5,4
4	1,2	4,8	5,0	8,9	11,2	20,4	25,2	23,5	25,9	16,0	10,8	5,0
5	0,9	5,5	9,0	11,9	10,4	19,0	23,1	25,6	25,4	16,4	10,8	5,0
6	2,2	6,5	10,1	12,7	13,0	16,1	20,2	27,2	23,8	16,0	10,5	7,7
7	1,8	9,1	8,1	11,6	16,5	17,4	21,8	26,6	23,4	15,3	9,4	7,3
8	2,9	6,7	6,4	12,6	15,1	16,7	25,1	26,3	23,5	14,0	7,3	4,6
9	3,8	10,3	8,3	10,6	13,8	16,3	26,1	27,6	23,2	14,1	6,3	3,0
10	4,5	9,0	8,7	9,5	13,8	21,2	26,1	26,8	21,4	13,8	6,7	1,3
11	4,4	6,5	9,3	10,3	14,7	22,0	25,5	23,4	21,6	15,0	6,3	0,6
12	4,1	7,6	10,0	11,6	16,9	22,5	27,0	18,7	19,5	14,3	8,0	1,5
13	3,0	7,0	13,1	13,0	18,3	24,2	21,2	19,9	19,2	13,9	10,4	0,5
14	3,3	8,0	12,9	13,6	18,4	26,0	19,9	21,2	18,3	14,0	10,4	-1,2
15	0,7	7,5	13,0	12,7	19,9	27,0	18,4	23,3	19,5	15,0	7,1	-0,6
16	1,0	6,9	12,5	11,9	22,4	27,6	19,0	22,4	16,6	16,3	6,9	0,3
17	1,3	7,5	9,7	9,6	22,6	27,6	22,3	21,8	19,2	17,7	6,5	0,5
18	0,2	7,3	11,4	9,4	20,4	28,5	22,3	23,3	19,6	16,0	6,0	0,2
19	1,4	6,7	14,1	14,1	19,2	28,7	21,9	24,4	19,7	14,4	7,1	0,7
20	3,7	9,0	13,9	19,0	19,9	28,4	24,8	22,4	20,9	12,8	5,8	1,8
21	5,9	8,0	12,6	20,2	19,9	28,4	24,2	22,8	21,3	11,4	3,6	1,4
22	3,3	5,6	15,9	21,0	20,6	29,4	25,6	22,8	21,6	11,9	4,5	1,9
23	3,2	5,0	16,2	19,4	17,8	30,2	25,0	23,0	22,0	14,5	7,0	3,2
24	3,6	5,8	14,8	15,2	18,8	29,2	26,0	23,9	19,6	14,1	5,6	1,3
25	5,2	7,6	15,4	17,1	19,1	24,5	23,9	23,9	16,6	12,5	4,7	2,1
26	6,6	7,4	14,3	17,8	18,5	23,4	22,7	23,8	17,1	15,7	6,0	2,0
27	8,2	9,2	13,6	17,9	16,7	24,7	23,8	21,9	16,6	14,1	5,0	5,3
28	4,6	9,2	8,4	15,1	17,6	24,1	25,7	23,8	16,9	16,1	5,6	3,9
29	4,1		8,9	15,3	20,4	22,4	26,5	19,7	17,3	13,0	3,5	1,9
30	3,4		8,7	18,1	21,8	21,8	26,4	21,2	19,1	12,4	4,8	5,3
31	4,6		13,1		22,6		24,1	22,5		13,7		5,7

Di seguito sono riportati gli eventi particolari registrati negli ultimi dieci anni:

- nel 2003 alla fine di luglio, con l'anticiclone sub-tropicale, sono stati toccati i 41°÷43°C
- nel gennaio e nel dicembre 2009, grazie all'effetto albedo e all'inversione termica, si sono registrati i -12°÷-14°C

Temperature medie mensili

Le temperature medie mensili, espresse in gradi centigradi [°C], dell'aria esterna seguono l'andamento caratteristico del clima della Pianura Padana.

tab. 6.2 - *Temperature medie mensili*

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mar	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$t°_{GIORNALIERA}$	4,5	6,6	10,3	13,9	19,2	23,8	25,4	24,7	20,1	15,3	9,4	4,9
$t°_{MEDIA\ MAX}$	7,4	10,5	15,7	19,3	25,0	29,6	31,2	30,4	25,5	19,7	12,9	7,6
$t°_{MEDIA\ MIN}$	-0,2	0,6	4,6	8,4	13,4	18,0	19,6	19,0	14,7	10,9	5,7	0,4

La norma UNI 10349, Prospetto VI (Norma Italiana dati climatici, raffrescamento e riscaldamento degli edifici) recita quanto segue:

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel Prospetto VI. I dati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto. Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- *si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provncia di appartenenza)*
- *si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione*

$$\Theta_{\Theta} = \Theta_{\Theta,r} - (z - z_r)\delta$$

Dove:

$\Theta_{\Theta r}$ *è la temperatura nella località di riferimento*
z *è l'altitudine s.l.m. della località considerata*
z_r *è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento*
δ *è il gradinete verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetto II, in funzione della zona geografica*

tab. 6.3 - *Valori del gradiente verticale di temperatura*

Zona geografica	(°C/m)
Italia settentrionale transpadana	1/178
Italia settentrionale cispadana	1/200
Italia centrale e meridionale	1/147
Sicilia	1/174
Sardegna	1/192

Per la città di Milano i dati sono forniti dalla tabella del Prospetto VI: n°49 MI. Confrontando i dati ottenuti con questa tabella si notano valori differenti soprattutto per quelli registrati nei mesi più freddi (gennaio, febbraio, novembre e dicembre) dove risultano più bassi (fino a quasi Δt°=3°C).

tab. 6.4 - *Temperature medie mensili di Milano*

Milano	**Mese**											
	Gen	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*Mag*	*Giu*	*Lug*	*Ago*	*Set*	*Ott*	*Nov*	*Dic*
	1,7	4,2	9,2	14	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14	7,9	3,1

Questo perché la Norma UNI 10349 risale al 1994 e da allora i cambiamenti climatici hanno spostato i valori su quelli registrati nei vent'anni successivi, come dimostrato dai calcoli effettuati. Inoltre si ricorda che il lotto di progetto si colloca nel cuore della città, che si configura all'interno dell'isola di calore caratterizzata da valori climatici lievemente più alti rispetto alla norma.

Temperature medie annuali

Di seguito sono riportate le temperature rilevate nel periodo tra il 2000 e il 2009 nell'area di Milano.

tab. 6.5 - *Temperature medie annuali*

Anno	**T**	**σ_T**	**TM**	**σ_{TM}**	**T_m**	**σ_{Tm}**	**σ_{PP}**	**σ_{PP}**	**E**	**σ_E**
2000	13,7	1,1	18,3	1,2	9,0	1,0	1.722	69,4	0,0	0,2
2001	13,3	0,7	17,9	0,8	8,6	0,6	689	-32,2	9,8	0,2
2002	13,4	0,8	17,8	0,7	8,9	0,9	1.214	19,5	9,4	-0,2
2003	14,2	1,6	19,1	2,0	9,2	1,2	656	-35,4	9,1	0,8
2004	13,4	0,9	18,0	0,9	8,8	0,8	765	-24,7	8,8	0,1
2005	12,9	0,3	17,5	0,4	8,2	0,2	701	-31,0	9,2	0,2
2006	13,6	1,1	18,3	1,2	8,9	0,9	682	-32,9	9,4	0,3
2007	13,9	1,4	19,0	1,9	8,8	0,8	650	-36,0	9,0	1,1
2008	13,7	1,1	18,4	1,3	8,9	0,9	914	-10,1	9,2	0,4
2009	13,4	0,8	18,4	1,3	8,4	0,4	851	-16,3	10,2	0,9
	T_{MEDIA}	$\sigma_{T\ MEDIA}$	T_{MMEDIA}	$\sigma_{TM\ MEDIA}$	Tm_{MEDIA}	$\sigma_{Tm\ MEDIA}$	PP_{MEDIA}	$\sigma_{PP\ MEDIA}$	E_{MEDIA}	$\sigma_{E\ MEDIA}$
	13,52	0,97	18,27	1,17	8,77	0,77	884,4	-12,97	8,41	0,4
	T_{MAX}	$\sigma_{T\ MAX}$	T_{MMAX}	$\sigma_{TM\ MAX}$	Tm_{MIN}	$\sigma Tm_{\ MAX}$	PP_{MAX}	$\sigma_{PP\ MAX}$	E_{MAX}	$\sigma_{E\ MAX}$
	14,15	1,6	19,1	2	9,2	1,2	1722	69,4	10,2	1,1

T	media annua della temperatura media per provincia [°C]
σ_T	scarto della media annua della temperatura media dal corrispondente valore medio [°C]
T_M	media annua della temperatura massima [°C]
σ_{TM}	scarto della media annua della temperatura massima dal corrispondente valore medio [°C]
Tm	media annua della temperatura minima [°C]
σ_{Tm}	scarto della media annua della temperatura minima dal corrispondente valore medio [°C]
PP	media annua della precipitazione totale per provincia [mm]
σ_{PP}	scarto della media annua della precipitazione totale dal corrispondente valore medio [mm]
V	velocità media annuale del vento [km/h]
E	escursione termica media annua della temperatura [°C]
σ_E	scarto dell'escursione termica media annua della temperatura dal corrispondente valore medio [°C]

Di seguito è riportata la mappa climatica italiana estrapolata dal DLGS 29-12-2006 n.311 che mostra la suddivisione in provincie del territorio italiano definendo le zone climatiche in funzione dei gradi giorno.

fig. 6.170 - *Mappa climatica italiana DLSG 29.12.06*

Inoltre, in riferimento al DPR 26-8-1993 n. 412 'Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n.10' è possibile ricavare, per ogni località, il valore dei gradi giorno (definito come: la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 C° e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno) e conseguentemente la zona climatica.

Località	Gradi Giorno	Zona climatica	Periodo annuale di riscaldamento	Durata giornaliera di attivazione
Milano	2404	E	15 ottobre – 15 aprile	14 h (lim max)

L'Art. 3 (Classificazione generale degli edifici per categorie) stabilisce che gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso da cui si ricavano le categorie prevalenti:

E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili

- *E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme*
- *E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili*
- *E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari*

E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico

E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici

E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili

- *E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi*
- *E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto*
- *E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo*

E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni

E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:

- *E.6 (1) piscine, saune e assimilabili*
- *E.6 (2) palestre e assimilabili*
- *E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive*

E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili

6.2.2 ENERGIA RADIANTE

L'energia radiante è l'energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche.

L'energia irradiata dal sole deriva dai processi di fusione termo-nucleare dell'idrogeno al suo interno. L'energia solare si propaga simmetricamente nello spazio fino ad investire la terra, in particolare la fascia esterna della atmosfera terrestre. La potenzia irradiata complessivamente dal sole è pari ad oltre 60.000 kW/m^2. La potenza disponibile decresce via via che aumenta la distanza dal sole, e dopo aver percorso i circa 150 milioni di km che separano la terra dal sole assume un valore molto più ridotto, di poco superiore ad 1,35 kW/m^2. Tale valore assume il nome di costante solare, che si assume pari a 1,367 kW/m^2 (valore medio di riferimento).

Sulla superficie terrestre si registra un valore della potenza inferiore rispetto alla costante solare, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nel percorso attraverso l'atmosfera. Sia nelle normative di riferimento che nella pratica impiantistica, il valore massimo della radiazione disponibile istantaneamente al suolo si assume pari a circa 1 kW/m^2. La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre si distingue in: radiazione diretta, radiazione diffusa e radiazione riflessa. La radiazione diretta colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben definito angolo d'incidenza. La radiazione diffusa incide invece su tale superficie con vari angoli. Una superficie inclinata, può ricevere, inoltre, la radiazione riflessa dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici (es. pareti di edifici adiacenti). Tale contributo si chiama albedo e deve essere valutato con attenzione.

Se chiamiamo I_D la radiazione diretta, I_S quella diffusa ed R l'albedo, allora si ha che la radiazione solare totale che incide su una superficie è:

$$I_{tot} = I_D + I_S + R$$

È banale ricordare come l'inclinazione e l'orientamento della superficie siano molto importanti: una superficie orizzontale riceve la massima radiazione diffusa e la minima riflessa; la componente riflessa aumenta al crescere dell'inclinazione.

Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale

L'irradiazione è il rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie misurata in MJ/m^2.

I principali valori sono:

$\overline{H}$ irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale
$\overline{H}_{bh}$ irradiazione solare giornaliera media mensile diretta sul piano orizzontale
$\overline{H}_{dh}$ irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa sul piano orizzontale

Per ottenerla:

$$\bar{H} = \overline{H_{r1}} + \frac{\overline{H_{r2}} - \overline{H_{r1}}}{\varphi_{r2} - \varphi_{r1}}(\varphi - \varphi_{r1})$$

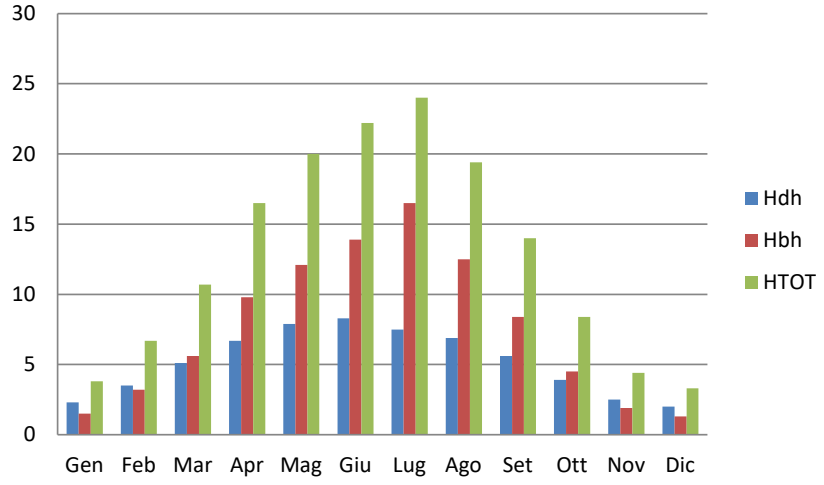
Dove:

$\overline{H}$r1 è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento
$\overline{H}$r1 è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento
$\overline{\varphi}$ è la latitudine della prima località di riferimento
$\overline{\varphi}$r1 è la latitudine della seconda località di riferimento
$\overline{\varphi}$r2 è la latitudine della località considerata

I valori dell'irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati, nelle componenti $\overline{H}_{bh}$ diretta e $\overline{H}_{dh}$ diffusa e per ogni mese dell'anno, nel Prospetto VIII della norma UNI 10349.

tab. 6.6 - *Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale*

Milano	**Mese**											
	Gen	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*Mag*	*Giu*	*Lug*	*Ago*	*Set*	*Ott*	*Nov*	*Dic*
$\overline{H}_{dh}$	2,3	3,5	5,1	6,7	7,9	8,3	7,5	6,9	5,6	3,9	2,5	2
$\overline{H}_{bh}$	1,5	3,2	5,6	9,8	12,1	13,9	16,5	12,5	8,4	4,5	1,9	1,3
$\overline{H}_{TOT}$	3,8	6,7	10,7	16,5	20	22,2	24	19,4	14	8,4	4,4	3,3



Osserviamo che i valori di irradiazione minima si registrano a dicembre mentre i valori massimi nei mesi più caldi di giugno e luglio.

Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano verticale

Sempre secondo la Norma UNI 10349 sono riportati nei prospetti IX, X, XI, XII e XIII, rispetto all'orientazione della superficie e per ogni mese dell'anno, i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile su superficie verticale.

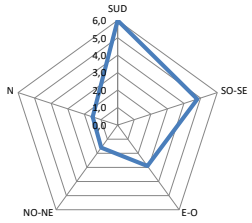
tab. 6.7 - *Irradiazione solare giornaliera media mensile su superficie verticale*

Milano	**Mese**											
	Gen	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*Mag*	*Giu*	*Lug*	*Ago*	*Set*	*Ott*	*Nov*	*Dic*
S	6	8,7	11,2	10,9	10	9,8	10,8	11,3	11,8	10,3	6,7	5,4
SO-SE	4,8	7,3	10,6	12,1	12,3	12,5	14	13,3	11,8	8,9	5,4	4,3
E-O	2,9	5,1	8,5	11,4	13,2	14,4	15,8	13,2	10,1	6,4	3,4	2,6
NO-NE	1,6	2,9	5,3	8,2	10,7	12,2	12,8	9,8	6,5	3,6	1,9	1,4
N	1,5	2,4	3,7	5,4	7,8	9,4	9,2	6,4	4,2	2,8	1,7	1,3

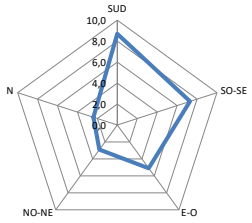
Come si vede sia sulla tabella che sui grafici, i valori massimi di irradiazione cambiano l'orientamento nel corso dell'anno. Mentre da ottobre a marzo, l'irradiazione massima è diretta sulle superfici verticali orientate a sud, si nota che durante i mesi di fine primavera ed inizio estate (maggio, giugno e luglio) l'irradiazione massima è assorbita dalle superfici orientate ad est e ad ovest. Inoltre notiamo che le superfici esposte a nord sono quelle che ricevono un irradiazione solare globale giornaliera inferiore a quelle di tutte le altre superfici in qualsiasi mese dell'anno.

I dati sono riassunti nella scheda successiva.

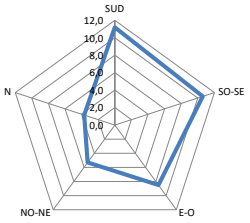
Gennaio



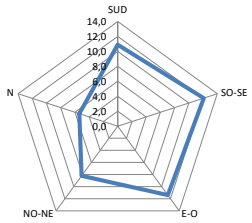
Febbraio



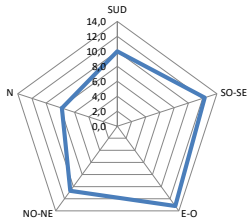
Marzo



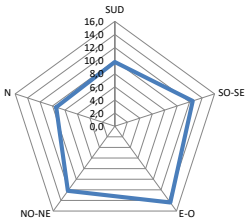
Aprile



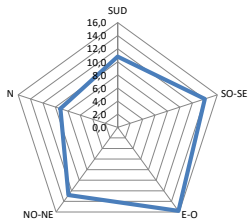
Maggio



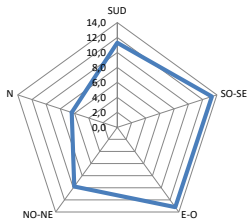
Giugno



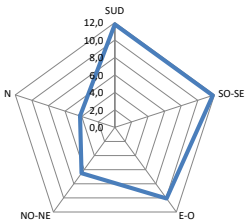
Luglio



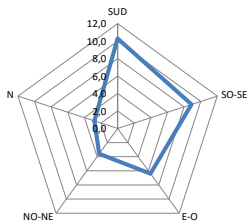
Agosto



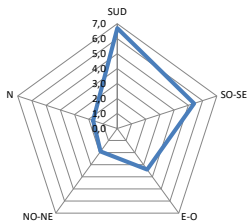
Settembre



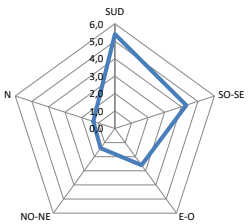
Ottobre



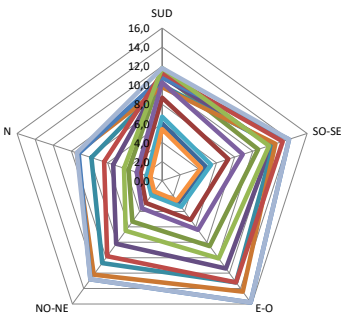
Novembre



Dicembre



Andamento Generale



Irradianza solare estiva massima: distribuzione giornaliera

Per calcolare l'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale, ad una specifica ora del giorno, bisogna conoscere la latitudine della località in esame per interpolare linearmente con i valori relativi alle latitudini tabulate. Le coordinate geografiche della città di Milano sono, secondo il Prospetto VII della norma UNI 10349:

- altitudine 122 m.s.l.m.
- latitudine 45° 28' 38" N
- longitudine 09° 10' 53"E

I prospetti XVII, XVIII, XIX e XX riportano rispettivamente i valori:

- dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine
- dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice sia disposto verticalmente e diversamente orientato che disposto orizzontalmente in funzione delle ore del giorno e della latitudine
- valori dell'angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva
- dell'altezza solare ed azimutale in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativi all'irradianza solare massima
- dell'angolo d'incidenza solare in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativo all'irradianza solare massima
- valori dell'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo.

Questi valori sono esplicitati per le latitudine 46°, 44°, 42°, 40° e 38°. Quindi per trovare i valori d'irradianza a Milano, dobbiamo calcolarli con i valori stabiliti per le latitudini 46° e 44°, interpolando con la formula:

$$I_T(\varphi_{Milano}) = I_T(\varphi_{r1}) + \frac{I_T(\varphi_{r2}) - I_T(\varphi_{r1})}{\varphi_{r2} - \varphi_{r1}}(\varphi_{Milano} - \varphi_{r1})$$

Dove:

IT	è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T
φ	è la latitudine della località in esame
φ_{r1}	è la latitudine riportata nel Prospetto XVII ubito più grande della località
$IT_{(\varphi r1)}$	è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r1}
φ_{r2}	è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più piccola della località
$IT_{(\varphi r2)}$	è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r2}

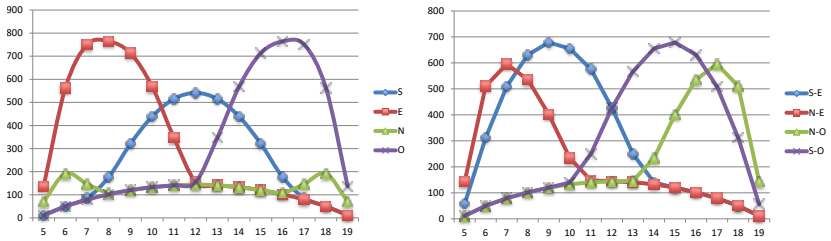
Di seguito sono riportati i valori espressi in W/m^2 ottenuti considerando la posizione di Milano.

$$I_T(\varphi_{Milano}) = I_T(46°) + \frac{I_T(46°) - I_T(44°)}{46° - 44°}(45°\,28'38'' - 46°)$$

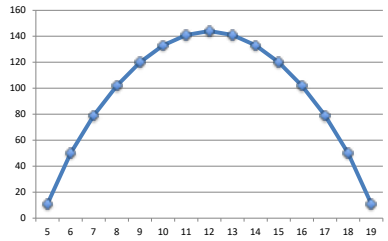
tab. 6.8 - *Irradianza massima solare estiva incidente su superfici verticali*

Ora	S	S-E	E	N-E	N	N-O	O	S-O	Diffusa	Orizzontale
5	11	58	137	143	71	11	11	11	11	30
6	50	312	562	511	192	50	50	50	50	198
7	86	509	750	595	147	79	79	79	79	381
8	177	631	764	536	109	102	102	102	102	552
9	321	679	713	402	120	120	120	120	120	698
10	439	655	568	234	133	133	133	140	133	810
11	515	576	347	148	141	141	141	250	141	881
12	541	427	156	144	144	144	156	427	144	909
13	515	250	141	141	141	146	347	567	141	881
14	439	140	133	133	133	234	568	655	133	810
15	321	120	120	120	120	402	713	679	120	698
16	177	102	102	102	109	536	764	631	102	552
17	86	79	79	79	147	595	750	509	79	381
18	50	50	50	50	192	511	562	312	50	198
19	11	11	11	11	71	143	137	56	11	30

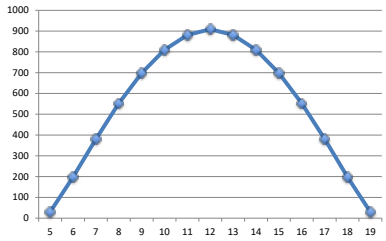
Irradianza solare massima estiva[W/m^2] incidente su superfici verticali diversamente orientate



Irradianza diffusa [W/m^2]



Irradianza orizzontale [W/m^2]

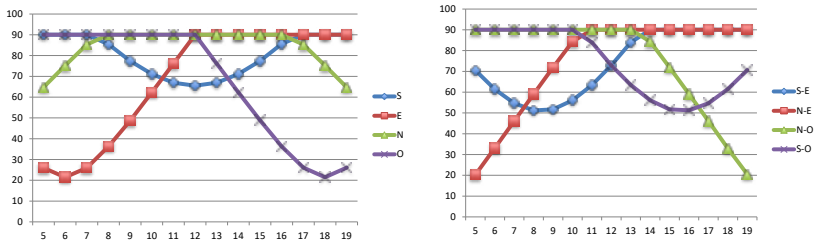


I prospetti XIX e XX riportano i valori dell'angolo d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva e l'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo, in funzione dell'ora del giorno e della latitudine. Siccome la latitudine di Milano è 45°28'38", cioè quasi 46°, riportiamo soltanto i valori esplicitati dalla norma per la latitudine 46°.

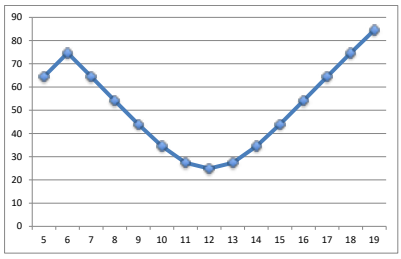
tab. 6.9 - *Valori dell'angolo d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva*

Ora	S	S-E	E	N-E	N	N-O	O	S-O	Orizzontale
5	90°	70,5°	26,0°	20,3°	64,7°	90°	90°	90°	64,5°
6	90°	61,4°	21,5°	33,1°	75,2°	90°	90°	90°	74,7°
7	90°	54,7°	26,0°	46,1°	85,3°	90°	90°	90°	64,5°
8	85,4°	51,2°	36,3°	59,1°	90°	90°	90°	90°	54,1°
9	77,4°	51,7°	48,7°	71,9°	90°	90°	90°	90°	43,9°
10	71,1°	56,1°	62,3°	84,3°	90°	90°	90°	90°	34,5°
11	66,9°	63,4°	76,1°	90°	90°	90°	90°	83,9°	27,4°
12	65,5°	72,9°	90°	90°	90°	90°	90°	72,9°	24,9°
13	66,9°	83,9°	90°	90°	90°	90°	76,1°	63,5°	27,4°
14	71,1°	90°	90°	90°	90°	84,3°	62,3°	56,1°	34,5°
15	77,4°	90°	90°	90°	90°	71,9°	48,9°	51,7°	43,9°
16	85,6°	90°	90°	90°	90°	59,1°	36,3°	51,3°	54,1°
17	90°	90°	90°	90°	85,3°	46,1°	26,1°	54,7°	64,5°
18	90°	90°	90°	90°	75,2°	33,0°	21,5°	61,5°	74,7°
19	90°	90°	90°	90°	64,7°	20,5°	26,1°	70,6°	84,5°

Irradianza solare massima estiva [W/m²] incidente su superfici verticali diversamente orientate



Irradianza orizzontale [W/m²]



tab. 6.10 - *Angolo di altezza solare ed azimutale massimi estivi (latitudine 46°)*

Ora	5	6	7	8	9	10	11	12
Altezza solare	5,5	15,3	25,5	35,9	46,1	55,4	62,6	65,5
Azimutale	115,5	105,3	95,2	84,3	71,6	55,1	31,5	0

6.2.3 PRECIPITAZIONI

La normativa UNI 10349 non fornisce alcun tipo di valore relativo alla distribuzione e intensità degli eventi meteorici in Italia, tuttavia, affrontando il problema della progettazione eco-sostenibile, è importante considerare tutti gli approvvigionamenti gratuiti da parte dell'ambiente che potrebbero essere utili o dannosi nei confronti dell'insediamento da progettare.

Analizzando i dati d'archivio dell'ISTAT è stato possibile definire un quadro generale delle precipitazioni registrate a Milano dal 2000 al 2009.

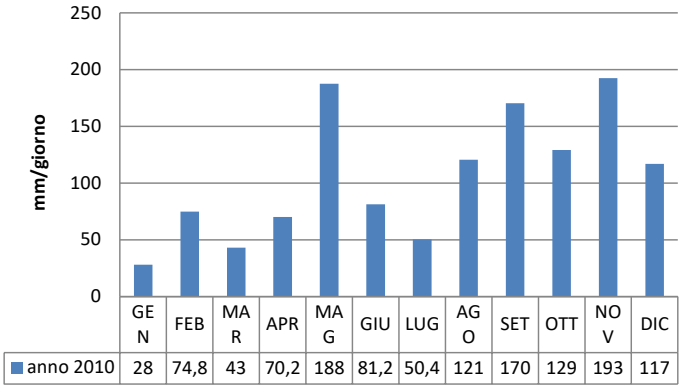
tab. 6.11 - *Precipitazioni rilevate a Milano dal 2000 al 2009 (ISTAT)*

Precipitazioni media annua [mm]	884,15											
	inverno			*primavera*			*estate*			*autunno*		
Precipitazione medie stagionali [mm]	26,4			47,5			49,2			53,4		
	gen	*feb*	*mar*	*apr*	*mag*	*giu*	*lug*	*ago*	*set*	*ott*	*nov*	*dic*
Precipitazioni medie mensili [mm]	27,1	22,4	29,6	54,1	56,2	32,3	41,2	57,7	48,7	49	88,3	22,9
Giorni con idrometeora [gg]	6	6	6	8	8	7	-	-	-	8	14	5

Al fine di garantire un corretto dimensionamento degli elementi di drenaggio/recupero delle acque meteoriche è sconsigliabile prestare troppa attenzione ai risultati ottenuti attraverso la mediazione dei rilevamenti, bensì è opportuno valutare gli eventi critici, la durata, l'intensità e l'altezza di pioggia nei giorni con maggior idrometeora e le durate dei periodi di siccità.

Tramite i rilevamenti dell'osservatorio di Milano forniti dal sito ufficiale, è stato possibile plottare il seguente grafico relativo alle quantità di precipitazioni rilevate per ogni mese nell'anno 2010.

tab. 6.12 - *Piovosità totale mensile dell'anno 2010 a Milano*



Dall'analisi del grafico è possibile individuare come periodi critici per importanza delle precipitazioni, i mesi di Maggio, Settembre e Novembre. Non vi sono periodi di grave assenza di precipitazione. Tuttavia la distribuzione delle precipitazioni è poco prevedibile e molto variabile di anno in anno anche a poche decine di kilometri della stazione di rilevamento, motivo per cui (probabilmente) la normativa non fornisce informazioni a riguardo.

6.2.4 VENTO E BREZZE

La diversa distribuzione del calore fornito dal Sole sulla Terra dà luogo nell'atmosfera ad aree di alta e bassa pressione.

L'atmosfera, essedo composta da un fluido, tende a ripristinare costantemente l'equilibrio, per cui l'aria si sposta da zone di alta pressione verso zone di bassa pressione generando correnti ventose. Quanto più elevata è la differenza di pressione, maggiore sarà l'intensità del vento.

Il movimento del vento devia nellemisfero verso destra, circolando attorno ai centri di alta pressione in senso orario e attorno a quelli di bassa pressione in senso antiorario, Il comportamento nell'emisfero australe ha un senso di rotazione inverso. Questa deviazione dell'aria, dimostrata dal matematico francese G.G. de Coriolis (1792-1843), è una conseguenza della rotazione terrestre e quindi dell'effetto della forza apparente di Coriolis..

I venti incidenti sul territorio di Milano vengono descritti attraverso i parametri di direzione e velocità. La direzione del vento viene espressa in gradi sessagesimali (°) indicano l'ampiezza dell'angolo rispetto allo zero, posto convenzionalmente a Nord, mentre la velocità è espressa in metri al secondo [m/s].

Anche in questo caso, la normativa non fornisce alcun dato a riguardo. Quindi l'analisi dei venti è stata possibile solo grazie all'elaborazione dei dati reperiti dalla stazione di rilevamento dell'osservatorio di Brera, concessi dall'ente ARPA.

L'arco di tempo rilevato è di 9 anni, dal 2003 al 2011. A seguito dell'analisi dei rilevamenti, si riconosce un comportamento medio annuale ciclico, con venti prevalentemente provenienti da Nord-Ovest, Ovest ed intensità medie inferiori ai 4 m/s.

Considerando un tempo di ritorno di soli 9 anni a causa della mancanza di dati precedenti al 2003, l'analisi degli eventi critici ha prodotto i seguenti risultati:

I valori delle velocità dei venti hanno raggiunto picchi significativi durante la stagione ...

la velocità massima è stata registrata il DD-MM-AA con circa X m/s.

I valori più bassi si concentrano nei mesi di MM e MM.

Calcolo valore medio annuale della velocità del vento media giornaliera:

$\omega = c \cdot \omega r$

Dove:

ωr è la velocità del vento della località di riferimento

c è il coefficiente correttivo

A titolo esemplificativo, di seguito sono riportate le wind rose dell'anno 2011.

6.2.5 UMIDITA'

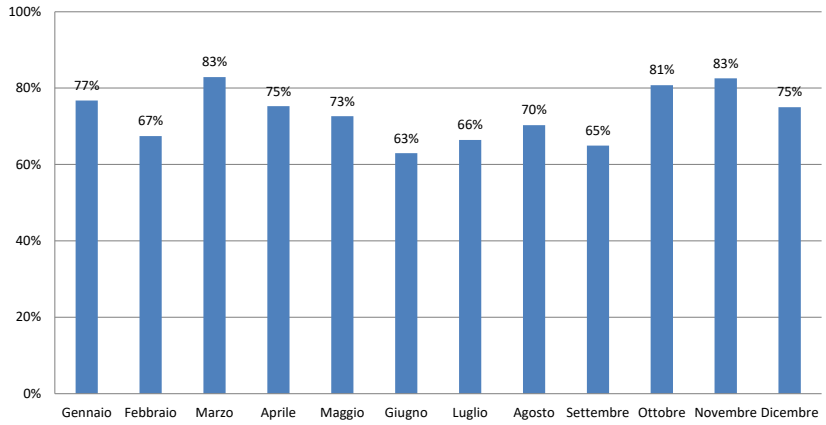
Il problema del controllo dell'umidità relativa (UR) è correlato al percezione dell'uomo delle sensazioni di caldo o freddo (ovvero la temperatura percepita). In particolare si percepirà una sensazione di maggior calore in presenza di ambienti con umidità relativa elevata.

In condizioni di umidità relativa superiore al 70%, l'ambiente riduce la capacità di accumulare il sudore emesso dal corpo umano (utilizzato come mezzo di raffrescamento evaporativo), impendendo il meccanismo naturale di regolazione della temperatura corporea, quindi accentuando la sensazione di caldo; al contrario, in una condizione di umidità relativa inferiore al 20%, le membrane mucose si seccano, aumentando le possibilità di infezione.

In regime stazionario un aumento di UR del 10 % ha lo stesso effetto di un aumento di temperatura di 0,3 °C.

Di seguito è riportato il grafico relativo alla media mensile dell'umidità relativa dell'aria. I dati si riferiscono ai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano mediati negli ultimi 10 anni.

tab. 6.13 - *Umidità relativa media mensile a Milano*



Durante l'arco dell'anno vi sono delle variazioni dell'umidità relativa intorno al 20% con un leggera diminuzione nei mesi estivi. I valori risultando sempre superiori agli standard di comfort descritti nel capitolo successivo, sarà quindi necessario progettare delle strategie attive o passive di deumidificazione dell'aria interna agli ambienti di progetto.

6.3 COMFORT TERMOIGROMETRICO

Con l'aumento del grado di ricchezza dei paesi industrializzati, la necessità di innalzare i parametri di comfort è un elemento fondamentale della progettazione.

La percezione del grado di comfort di un ambiente dipende da diversi parametri:

- parametri fisici: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, pressione atmosferica
- parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento
- fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali
- fattori psicologici e culturali

In base alle condizioni sociali e ambientali è possibile individuare diversi gradi di accettazione degli scenari di comfort che variano in funzione della temperatura esterna e della ricchezza della società. In una civiltà evoluta come la nostra è necessario valutare un grado di comfort elevato descritto dai seguenti parametri:

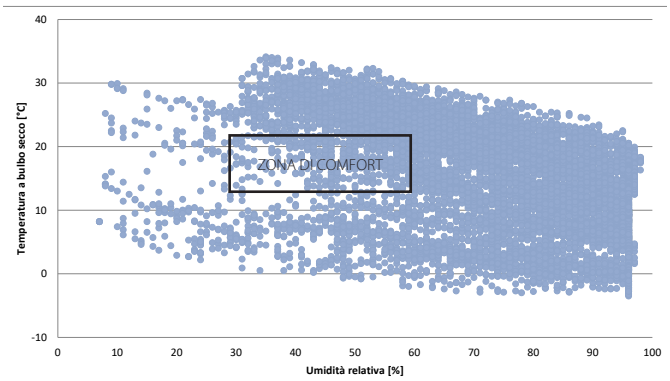
tab. 6.14 - *Limiti medi per condizioni igrotermiche ottimali (Melino C. 1992)*

	Estate	**Inverno**
Temperatura dell'aria	26°C	20°C
Umidità relativa	30% < U < 60%	30 % < U < 50%
Velocità dell'aria	0,1 - 0,2 m/s	0,05 - 0,1 m/s
Temperatura effettiva	20 - 22 °C	16 - 18 °C

Confrontando i valori di UR medi mensili con i parametri di comfort e considerando che l'attività umana solitamente produce un aumento dell'UR all'interno di un ambiente, sarà necessario valutare delle strategie di deumidificazione dell'aria degli ambienti che risultano superiori agli standard di comfort durante tutto l'anno (ad eccezione del mese di Giugno).

E' possibile definire una visione generale del clima milanese attraverso il diagramma di Olgyay che riporta la combinazione di temperature a bulbo secco [°C] ed umidità relativa [%] nell'arco dell'anno rilevate per ogni ora. I dati si riferiscono ai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano mediati negli ultimi 10 anni.

tab. 6.15 - *Diagramma di Olgyay relativo a Milano*



6.4 COMPONENTI GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

6.4.1 COMPONENTE GEOLOGICA

La struttura geologica di superficie

Si propone una descrizione, in successione cronologica dalla più antica alla più recente, delle diverse Unità che compaiono nell'area di studio:

- Diluvium Antico (fluvioglaciale MindelAuct) È costituita da ghiaie a supporto di una matrice abbondante, prevalentemente sabbiosa – argillosa di colore giallo – ocraceo.
- Diluvium Medio (fluvioglaciale RissAuct) Le aree di affioramento di questa unità si trovano sempre nella porzione settentrionale dell'area interessata. I sedimenti sono essenzialmente di natura ghiaiosa con ciottoli molto arrotondati aventi diametro medio di circa 10 cm, immersi in una matrice abbondante di colore giallo – marrone, a tessitura argilloso – sabbiosa.
- Diluvium Recente (fluvioglaciale WurmAuct) Vengono così definiti quei depositi di natura ghiaiosa – sabbiosa. E' presente in superficie anche un orizzonte limoso – sabbioso di alterazione, dello spessore di 70/100 cm circa. Da un punto di vista tessiturale è possibile distinguere tre fasce, denominate zona a ghiaie prevalenti, zona a ghiaie e sabbie e zona a sabbie prevalenti, con progressivo aumento delle componenti granulometriche fini da Nord a Sud. In riferimento a questa suddivisione, l'area di studio si inquadra nella zona a ghiaie e sabbie.

Elementi geomorfologici

L'area in esame si inquadra nella media pianura alluvionale in cui, dal punto di vista morfologico, sono riconoscibili solo i terrazzi fluviali attuali, anche questi parzialmente obliterarti dall'attività antropica di rimodellamento.

In tale contesto, l'aspetto più rilevante è legato all'intensità dell'antropizzazione che incide profondamente sui processi morfogenetici naturali, soprattutto con il controllo della circolazione idrica superficiale e l'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali. Il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpate ed avvallamenti di esclusiva genesi antropica.

Carta litologica con elementi geomorfologici nella quale sono state rappresentate le unità litologiche.

CODICE ERSAL	Codice	Definizione
G1	G1P	Ghiaie poco gradate
	G1PS	Ghiaie poco gradate con sabbia
	G1W	Ghiaie ben gradate
	G1WS	Ghiaie ben gradate con sabbia

(vedi G_01_Carta_litologica_2_N-E)

6.4.2 COMPONENTE IDROGEOLOGICA

Le denominazioni delle unità idrogeologiche vengono quindi fatte corrispondere a quelle delle unità di superficie. La suddivisione in unità idrogeologiche, proposta dallo studio sulle falde profonde della provincia di Milano, si basa invece sul riconoscimento di associazioni di litotipi che presentano le seguenti caratteristiche:

- analoghe condizioni di circolazione idrica sotterranea
- rapporti comparabili di alimentazione
- deflusso delle falde; disposizione geometricamente conforme rispetto agli altri acquiferi

Questo criterio essenzialmente idrogeologico, mette in relazione le caratteristiche litologico stratigrafiche con le modalità di circolazione idrica e consente una maggiore razionalizzazione del modello stratigrafico del sottosuolo a vantaggio di una maggiore corrispondenza tra i livelli acquiferi e le falde presenti. L'indagine propone un modello stratigrafico basato sul riconoscimento e la definizione di 4 unità idrostratigrafiche, definite informalmente gruppi acquiferi A, B, C, D:

- il gruppo acquifero D, il più profondo, è costituito da una sequenza in facies negativa caratterizzata da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media nella porzione intermedia, e ghiaia poligenica alternata a sabbia nella parte alta.
- il soprastante gruppo acquifero C è ripartito in due distinti cicli regressivi: il ciclo inferiore è costituito, alla base, da sedimenti marini di piattaforma, rappresentati in prevalenza da argilla siltoso - sabbiosa che passano superiormente a depositi prevalentemente sabbiosi di ambiente transizionale, la parte alta del ciclo è invece rappresentata da depositi continentali di piana alluvionale con sabbia grigia da finissima a media, laminata, alternata ad argilla siltosa e argilla palustre scura, ricca in sostanza organica. Nel suo complesso il gruppo acquifero C corrisponde ad una fase di modalità di deposizione dei sedimenti da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani, la quale determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbiditica.
- il gruppo acquifero B è suddivisibile in due distinti cicli positivi di spessore pari a circa 20 m mentre nel ciclo inferiore prevalgono i litotipi sabbiosi, con sabbia grigia da fine a grossolana, raramente ciottolosa, massiva o laminata, in strati gradati da sottili a molto spessi. Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie, nelle aree più prossime alle aree alpine di alimentazione, e delle sabbie in quelle meridionali più distali.
- il gruppo acquifero A presenta forti analogie con il sottostante gruppo B in termini di litofacies, ambienti e sistemi deposizionali. I depositi sono costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana; l'ambiente deposizionale è continentale e dominano, in particolare, le piane alluvionali con sistemi fluviali di tipo braided.

Il sottosuolo della pianura milanese è formato, come indicato in precedenza, da una successione di sedimenti plio-pleistocenici, costituiti nella parte basale prevalentemente da limi ed argille d'origine marina con rare sabbie e ghiaie, mentre nella parte sommitale si hanno alternanze di ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine alluvionale e fluvioglaciale.

Unità idrogeologiche

Unità argilloso-sabbiosa. Questa Unità si rinviene nei pozzi con profondità superiore ai 220-280 m nella media pianura e 130-180 m nell'alta pianura. Si tratta prevalentemente di argille e limi di colore grigio cinereo con micro e macro fossili marini, ai quali sono subordinati livelli sabbiosi generalmente di modesto spessore.

Unità sabbioso-argillosa. Questa Unità rappresenta una successione di sedimenti di origine continentale, i litotipi che caratterizzano tale Unità, spesso indicata in letteratura come "Argille Villafranchiane", sono costituiti da argille e limi di colore grigio e talora giallo, con frequenti intercalazioni di livelli torbosi più o meno continui, e di orizzonti lenticolari a tessitura sabbiosa, più raramente, ghiaiosa; questi costituiscono i livelli acquiferi con falde confinate

Unità sabbioso-ghiaiosa. Si caratterizza per una successione di sedimenti sabbioso-ghiaiosi e sabbiosi, con frequenti intercalazioni lenticolari limoso-argillose.

Unità ghiaioso-sabbiosa. La litozona ghiaioso-sabbiosa si sviluppa dal piano campagna fino a una profondità di circa 40 m, è costituita da ghiaie e sabbie, talora cementate, con rare intercalazioni argillose, che vanno aumentando come continuità e spessore nella parte meridionale della città.

(vedi G_02_Carta_idrogeologica__2_N-E)

Caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi

Ai fini della gestione delle acque sotterranee, appare della massima importanza la conservazione dello stato di equilibrio del bilancio idrico, in modo che possano essere evitati interventi gestionali capaci di alterarne la funzionalità. Si nota infatti che la stessa delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi può comportare scelte nella collocazione delle opere di estrazione che possono pesantemente influire sul bilancio idrico locale.

Alla base di una corretta gestione del bilancio, è l'identificazione di un modello concettuale della circolazione idrica sotterranea basato sui dati idrogeologici conosciuti, che restituisca con chiarezza la struttura idrogeologica.Alcune sezioni geologiche proposte illustrano la struttura dell'area studiata, permettendo di verificare le modalità di alimentazione e flusso delle acque sotterranee.

Alimentazione. Le acque si infiltrano nelle permeabili alluvioni del Pleistocene superiore e Olocene dell'alta pianura fra Adda e Ticino, in una "zona di ricarica degli acquiferi" che è oggetto di particolare attenzione da parte della Regione, in quanto la sua tutela garantisce la qualità delle acque sotterranee del Milanese. Questa "zona di ricarica" si estende dalle propaggini delle colline moreniche varesine fino a comprendere tutta l'alta pianura fino a Legnano e Busto Arsizio. Nella zona di ricarica degli acquiferi, il primo livello argilloso di separazione fra il primo acquifero e quelli più profondi, si trova generalmente a profondità compresa fra i 25 e i 40 m.

Zona di deflusso. Le acque di infiltrazione si distribuiscono negli acquiferi del Milanese seguendo i corpi idrici di maggiore trasmissività, fra i quali soprattutto i paleoalvei dei fiumi Olona, Lambro e Seveso, che penetrano profondamente all'interno della città costruendo le vie preferenziali di alimentazione.Le sezioni idrogeologiche mostrano come si venga a delineare, in senso East-Ovest, una dorsale dell'Unità C, che dal Fiume Lambro si spinge fino al Fiume Adda all'altezza di Monza. Questa dorsale è determinata da un sollevamento dei depositi del Pleistocene medio ed inferiore che, anche senza raggiungere il centinaio di metri, risulta peraltro sensibilmente apprezzabile; ad esempio, si osserva che il tetto dell'Unità sabbioso-argillosa, arriva fino a poche decine di metri dalla superficie già a Nord del territorio comunale. Questa struttura, rallentando il flusso idrico verso valle con terreni di minore trasmissività, determina un certo impoverimento delle

portate di falda fra Monza e il Fiume Adda e riduce gli afflussi verso Milano.

In sintesi si osserva:

- una netta distinzione in più settori a carattere idrogeologico marcatamente differente
- la buona continuità laterale dell'acquifero freatico, che peraltro risulta contenuto in terreni a permeabilità e trasmissività differente
- la rilevante eterogeneità dell'acquifero semiconfinato
- l'intercomunicazione verticale fra i due acquiferi, che non sono mai nettamente separati da un aquiclude

Distribuzione dei valori di trasmissività

Per il calcolo dei valori di trasmissività sono stati utilizzati i dati riportati nelle stratigrafie dei pozzi. Il valore del gradiente idraulico è basato sul valore medio rilevato, nell'area circostante ogni singolo pozzo.

Si riportano i valori medi per acquifero suddivisi in tre zone (settentrionale, centrale e meridionale).

Gli acquiferi A e B. Nell'area d'indagine è presente un numero elevato di pozzi pubblici a servizio dell'acquedotto con profondità superiore ai 70 m, che prelevano acque sia da A sia da B, è stato possibile calcolare numerosi valori di trasmissività, ottenendo una carta d'interpolazione che soddisfacesse le necessità di una modellazione matematica del flusso idrico sotterraneo.I valori variano nell'area Milanese in un intorno di 2x10-2 m2/s.I valori di trasmissività decrescono in senso N-S, e questo trend è tutt'altro che regolare e a piccola scala sono individuabili diverse eccezioni che nei casi isolati.

L'acquifero C. Nella parte più superficiale dell'acquifero C la trasmissività media è pari a 1,1x10-2 m2/s contro la media di 8x10-3 m2/s riscontrati nella parte basale.

Conclusioni sulla struttura idrogeologica

Tra le diverse osservazioni che si possono fare esaminando le sezioni geologiche si nota come le aree favorevoli allo sfruttamento delle riserve idriche siano di rilevante estensione (almeno due terzi della città).

I prelievi sono ormai di una tale entità che non esistono ulteriori risorse sfruttabili: quelle esistenti si concentrano negli orizzonti più permeabili del settore centro-orientale (limitati nell'area Parco Sempione-Duomo, da un potente banco sabbioso che sostituisce le ghiaie del primo acquifero) e settentrionale. In questi due settori, infatti, gli acquiferi hanno la migliore resa con il minimo abbassamento, inducendo in passato alla costruzione di impianti a grande diametro (pozzi radiali) lungo la fascia orientale della città. Nel settore occidentale, nel primo acquifero si interpongono frequenti lenti di argilla di scarsa continuità ma di elevato spessore complessivo (fino a 30 m nell'impianto di piazza Accursio, che raggiunge solo 100 m di profondità), riducendo molto la resa dei pozzi. In conclusione, possiamo restringere l'area più valida per ulteriori prospezioni alla periferia Nord della città e alla periferia orientale, fra circonvallazione esterna e tangenziale Est (inquinamenti a parte).

Appare evidente che gli acquiferi di Milano sfruttabili ai fini acquedottistici (in sintesi: la parte inferiore dell'acquifero A e l'acquifero B, parte dell'acquifero C) hanno esaurito le loro possibilità di sfruttamento per molti fattori (eccesso di prelievi, inquinamenti) è necessario predisporre studi atti ad individuare la zona destinata ai prelievi. Sia sufficiente questa constatazione: il solo Acquedotto civico estrae, da una superficie di soli 100 km^2, e da acquiferi di soli 50 metri di spessore in media, come evidenziato dalle sezioni, con una porosità efficace del 15% circa, oltre 300 milioni di m^3/s, pari a 11 m^3/s.Tale cifra aumenta di almeno un terzo considerando industrie e privati, arrivando a poco meno di 15 m^3/s nel solo comune di Milano.Dal momento che l'ampiezza delle aree di salvaguardia può

essere regolata riducendo o aumentando i prelievi, o spostando i punti di prelievo, appare opportuno tener conto del fatto che l'acquifero milanese solo in alcuni settori può sopportare variazioni nei prelievi senza produrre problemi. La gestione delle portate rappresenta quindi un problema di non indifferente difficoltà, la cui soluzione può essere trovata solamente agendo previe approfondite considerazioni confortate dai calcoli.

Vengono qui di seguito evidenziate le tracce di alcune sezioni idrogeologiche pubblicate dalla Provincia di Milano che interessano il territorio del Comune di Milano.

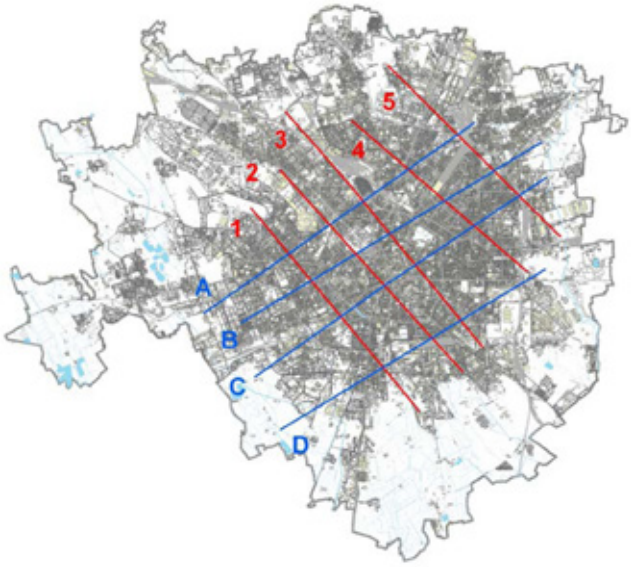


fig. 6.171 - *Sezioni idrogeologiche del territorio di Milano*

Si allegano inoltre le seguenti carte estratte dal PGT di Milano:
G_03_Carta_vincoli_2D
G_04_Carta_sintesi_2D
G_05_Carta_fattibilità_geologica_2D

Idrografia

L'idrografia dell'area milanese è piuttosto complessa anche a causa dei numerosi interventi effettuati nel corso dei secoli: questi interventi idraulici sulle acque traggono origine dalla risoluzione della questione dello scarico dei reflui prima ancora di quello della regolazione dei diversi corsi d'acqua, naturali ed artificiali, che attraversano la città.

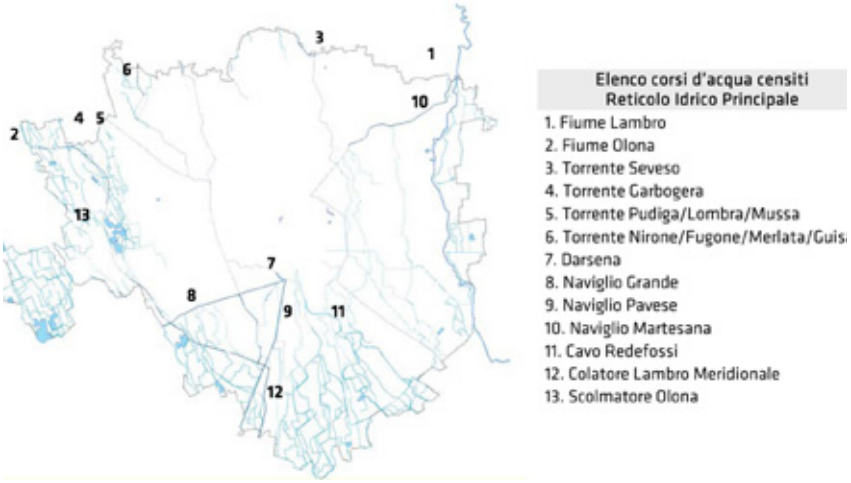


fig. 6.172 - *Corsi d'acqua censiti a Milano*

Il dato di fatto fondamentale che si può osservare nell'area milanese è l'andamento dei corsi d'acqua, all'incirca paralleli fra di loro, e con direzione di scorrimento da Nord-Ovest verso Sud-Est, in corrispondenza della direzione di pendenza del piano padano.

A Nord-Ovest entrano in città vari corsi d'acqua, il principale dei quali è il torrente Seveso, proveniente dai rilievi morenici del comasco; segue la via Ornato e con un percorso sotterraneo confluisce nella Martesana in via Melchiorre Gioia. Nel Medioevo le acque dei torrenti Seveso e Nirone alimentavano il fossato difensivo, a ridosso della cerchia muraria.

Il naviglio Martesana, costruito fra il 1457 ed il 1465, deriva le sue acque dall'Adda nei pressi di Trezzo ed entra in città da via Padova. Un tempo esso alimentava la fossa interna dei navigli passando dalla conca dell'Incoronata e dal laghetto di San Marco; dopo la confluenza col torrente Seveso, che avviene all'altezza di via Carissimi, dà origine, al Ponte delle Gabelle, vicino a Porta Nuova, al Cavo Redefossi. Quest'ultimo scorre (tombinato) sotto i viali della cerchia orientale dei Bastioni, fino a Porta Romana, dove devia lungo il Corso Lodi e le vie Cassinis e Rogoredo, sbucando poi in un condotto che fiancheggia la via Emilia, fino alla confluenza nel Lambro.Il tratto del Cavo Redefossi che va da piazza Medaglie d'Oro al Lambro venne scavato tra il 1783 ed il 1786 per rimediare alle frequenti esondazioni che interessavano le zone di Porta Vittoria, Porta Romana e Porta Ludovica.

Il fiume Olona, che nasce nelle prealpi varesine, raggiunge Milano nei pressi dell'attuale Quartiere Gallaratese; percorrendo in sotterraneo i viali della circonvallazione occidentale fino a San Cristoforo, un tempo si immetteva direttamente nella darsena di Porta Ticinese; attualmente supera il Naviglio Grande e dà origine al Colatore Lambro Meridionale. Nella zona di San Siro confluiscono nel fiume Olona il torrente Fugone (o Merlata), e poco più a valle il torrente Mussa: entrambi attraversano in sotterraneo parte dell'attuale territorio cittadino.

Ad Est della città scorre a cielo aperto, proveniente dal triangolo lariano, il Lambro settentrionale, che presso Melegnano raccoglie le acque del Cavo Redefossi e della Roggia Vettabbia, e più a valle quelle del Colatore Lambro Meridionale. Il Lambro Meridionale, oltre a ricevere le acque dell'fiume Olona, funge anche da scaricatore del Naviglio Grande. Quest'ultimo deriva le sue acque dal Ticino, nei pressi di Tornavento, e confluisce in città nella darsena di Porta Ticinese. Dalla Darsena prende origine il Naviglio Pavese, che collega Milano con Pavia.

Per rimediare alle frequenti esondazione del torrente Seveso e del fiume Olona esiste inoltre lo scolmatore di Nord-Ovest, che si è però spesso dimostrato insufficiente ad evitare allagamenti in città, soprattutto nella zona di Niguarda, così come indicato nella cartografia allegata.

Notiamo infine che a Nord di Milano, trasversalmente alla pianura scorre il Canale Villoresi, che collega il fiume Ticino al fiume Adda, fornendo acqua di irrigazione ad un ampio comprensorio naturalmente meno ricco di acqua della zona a Nord della città.

6.4.3 COMPONENTE SISMICA

L'azione sismica rientra tra le azioni ambientali e naturali. Le strategie per affrontare le azioni che cimentano l'opera potrebbero essere:

- ridurre la probabilità che l'azione avvenga o ridurre l'intensità (prevenzione)
- ridurre gli effetti dell'azione sulla struttura (protezione)
- progettare e realizzare una struttura in grado di sopportare senza danni le azioni
- limitare il grado di danneggiamento della struttura a seguito dell'accadimento dell'azione
- mitigare le conseguenze del collasso (mitigazione)
- Per le normative di riferimento si indica il D.M. 14/01/2008 'Norme Tecniche per le Costruzioni'

Le azioni sismiche di progetto si definiscono in base alla 'pericolosità sismica' del sito di costruzione.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

a_g accelerazione orizzontale massima attesa

$Se_{(T)}$ spettro di risposta elastico in accelerazione (P_{VR} probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento V_R)

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

A_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Questi parametri sono calcolati in funzione del 'reticolo di riferimento'.

La vita nominale dell'opera in esame si attesta tra $50 \leq v_n \leq 100$ anni.

Classe I. Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classi d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadentiin Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso

Classe IV. Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Coefficiente d'uso:

Classe d'uso	**I**	**II**	**III**	**IV**
CU	0,7	1,0	1,5	2,0

Periodo di riferimento:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Se Vr≤35 anni si pone comunque Vr=35 anni.

Il territorio nazionale è suddiviso in 4 zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso intervallo di valori del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria "A")con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Zona	**1**	**2**	**3**	**4**
ag	0,25g<ag≤0,35g	0,15g<ag≤0,25g	0,05g<ag≤0,15g	ag≤0,05g

Si allegano le seguenti schede:
mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - Elaborazione 04_2004
mappa_16mo percentile
mappa_84mo percentile

CODICE SCHEDA A1.1

SCHEMA	**A1**
FOGLIO	**1**

Dati Climatici	***Milano***
Temperature medie giornaliere	[°C]

Descrizione

L'andamento della temperatura è influenzato dai valori di intensità della radiazione solare.

Caratteristiche di progetto

gg	Mese											
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
1	2,9	7,4	3,3	9,4	17,1	23,1	23,2	23	20,9	15,5	13,5	6,6
2	3	7	2,3	11,1	14,7	24	22,8	24	23,1	15,6	12,5	5,8
3	0,7	10	2,3	8,4	14	21,2	23,3	24,5	25	16,5	11	5,4
4	1,2	4,8	5	8,9	11,2	20,4	25,2	23,5	25,9	16	10,8	5
5	0,9	5,5	9	11,9	10,4	19	23,1	25,6	25,4	16,4	10,8	5
6	2,2	6,5	10,1	12,7	13	16,1	20,2	27,2	23,8	16	10,5	7,7
7	1,8	9,1	8,1	11,6	16,5	17,4	21,8	26,6	23,4	15,3	9,4	7,3
8	2,9	6,7	6,4	12,6	15,1	16,7	25,1	26,3	23,5	14	7,3	4,6
9	3,8	10,3	8,3	10,6	13,8	16,3	26,1	27,6	23,2	14,1	6,3	3
10	4,5	9	8,7	9,5	13,8	21,2	26,1	26,8	21,4	13,8	6,7	1,3
11	4,4	6,5	9,3	10,3	14,7	22	25,5	23,4	21,6	15	6,3	0,6
12	4,1	7,6	10	11,6	16,9	22,5	27	18,7	19,5	14,3	8	1,5
13	3	7	13,1	13	18,3	24,2	21,2	19,9	19,2	13,9	10,4	0,5
14	3,3	8	12,9	13,6	18,4	26	19,9	21,2	18,3	14	10,4	-1,2
15	0,7	7,5	13	12,7	19,9	27	18,4	23,3	19,5	15	7,1	-0,6
16	1	6,9	12,5	11,9	22,4	27,6	19	22,4	16,6	16,3	6,9	0,3
17	1,3	7,5	9,7	9,6	22,6	27,6	22,3	21,8	19,2	17,7	6,5	0,5
18	0,2	7,3	11,4	9,4	20,4	28,5	22,3	23,3	19,6	16	6	0,2
19	1,4	6,7	14,1	14,1	19,2	28,7	21,9	24,4	19,7	14,4	7,1	0,7
20	3,7	9	13,9	19	19,9	28,4	24,8	22,4	20,9	12,8	5,8	1,8
21	5,9	8	12,6	20,2	19,9	28,4	24,2	22,8	21,3	11,4	3,6	1,4
22	3,3	5,6	15,9	21	20,6	29,4	25,6	22,8	21,6	11,9	4,5	1,9
23	3,2	5	16,2	19,4	17,8	30,2	25	23	22	14,5	7	3,2
24	3,6	5,8	14,8	15,2	18,8	29,2	26	23,9	19,6	14,1	5,6	1,3
25	5,2	7,6	15,4	17,1	19,1	24,5	23,9	23,9	16,6	12,5	4,7	2,1
26	6,6	7,4	14,3	17,8	18,5	23,4	22,7	23,8	17,1	15,7	6	2
27	8,2	9,2	13,6	17,9	16,7	24,7	23,8	21,9	16,6	14,1	5	5,3
28	4,6	9,2	8,4	15,1	17,6	24,1	25,7	23,8	16,9	16,1	5,6	3,9
29	4,1		8,9	15,3	20,4	22,4	26,5	19,7	17,3	13	3,5	1,9
30	3,4		8,7	18,1	21,8	21,8	26,4	21,2	19,1	12,4	4,8	5,3
31	4,6		13,1		22,6		24,1	22,5		13,7		5,7

Eventi speciali registrati negli ultimi dieci anni da prendere in considerazione:

- *Nel 2003, alla fine del mese di Luglio, con l'anticiclone subtropicale, le temperature hanno raggiunto i +41C°÷43 °C*
- *Nel mese di gennaio e dicembre 2009, a causa del effetto albedo e inversione termica, sono stati registrate temperature di -12C° ÷-14 °C*

CODICE SCHEDA A1.2

SCHEMA	A1
FOGLIO	2

Dati Climatici	*Milano*
Temperature medie mensili	[°C]

Descrizione

I seguenti valori sono relativi alla media mensile delle temperature medie giornaliere della temperatura dell'aria esterna.

Caratteristiche di progetto

	Mese											
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
t° gg media	4,5	6,6	10,3	13,9	19,2	23,8	25,4	24,7	20,1	15,3	9,4	4,9
t° max media	7,4	10,5	15,7	19,3	25	29,6	31,2	30,4	25,5	19,7	12,9	7,6
t° min media	-0,2	0,6	4,6	8,4	13,4	18	19,6	19	14,7	10,9	5,7	0,4

fonte: stazioni di rilevamento

	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
t° gg media	1,7	4,2	9,2	14	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14	7,9	3,1

fonte: Norma UNI 10349

La norma UNI 10349 (prospetto VI) fornisce tutti i dati relativi all'area di progetto. Le due tabelle mostrano differenze soprattutto durante il periodo invernale. La norma UNI è più restrittiva rispetto ai dati rilevati probabilmente a causa della differenza di tempo di misurazione. La norma UNI fornisce temperature che sono state rilevate all'inizio degli anni novanta. Possiamo attribuire questa differenza ai cambiamenti climatici e alla crescita della metropoli (isola di calore) che si sono verificati negli ultimi 20 anni.

Stazioni di rilevamento da cui sono stati estratti i dati climatici:

- *Milano Linate*
- *Milano Malpensa*
- *Milano Juvara*
- *I.S.T.A.T. (istituto Nazionale di Statistica)*
- *U.N.I. (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)*
- *C.T.I. 2000 (Comitato Termotecnico Italiano, Energia e Ambiente)*
- *A.R.P.A. Lombardia (Agenzia Reginale per la Protezione Ambientale)*

Effetto isola di calore

L'area di progetto, a causa della alta densità del quartiere in cui si trova, è soggetta all'effetto 'isola di calore'. Esso consiste in un aumento della temparatura rispetto ad una situazione con minore densità. Il project manager è responsabile di definire le opportune modifiche ai dati climatici raccolti con la finalità di assicurare una corretta analisi energetica delle strutture edilizie, in particolare durante il periodo estivo.

CODICE SCHEDA A1.3

SCHEMA	**A1**
FOGLIO	**3**

Dati Climatici	***Milano***
Temperature medie annuali	[°C]

Descrizione

I seguenti valori sono relativi alla media mensile delle temperature medie giornaliere della temperatura dell'aria esterna.

Caratteristiche di progetto

Year	T	σ_T	T_M	σ_{TM}	T_m	σ_{Tm}	PP	σ_{PP}	E	σ_E
2000	13,7	1,1	18,3	1,2	9	1	1.722	69,4	0	0,2
2001	13,3	0,7	17,9	0,8	8,6	0,6	689	-32,2	9,8	0,2
2002	13,4	0,8	17,8	0,7	8,9	0,9	1.214	19,5	9,4	-0,2
2003	14,2	1,6	19,1	2	9,2	1,2	656	-35,4	9,1	0,8
2004	13,4	0,9	18	0,9	8,8	0,8	765	-24,7	8,8	0,1
2005	12,9	0,3	17,5	0,4	8,2	0,2	701	-31	9,2	0,2
2006	13,6	1,1	18,3	1,2	8,9	0,9	682	-32,9	9,4	0,3
2007	13,9	1,4	19	1,9	8,8	0,8	650	-36	9	1,1
2008	13,7	1,1	18,4	1,3	8,9	0,9	914	-10,1	9,2	0,4
2009	13,4	0,8	18,4	1,3	8,4	0,4	851	-16,3	10,2	0,9
Media										
	13,52	0,97	18,27	1,17	8,77	0,77	884,4	-12,97	8,41	0,4
Massimi										
	14,15	1,6	19,1	2	9,2	1,2	1722	69,4	10,2	1,1

T [C°]	temperature medie
σT[°C]	deviazione standard della media annuale
TM [°C]	temperature medie massime
σTM[°C]	deviazione standard della media annuale delle temperature massime
Tm[°C]	temperature medie minime
σTm[°C]	deviazione standard della media annuale delle temperature minime
PP [mm]	media delle precipitazioni
σPP [mm]	deviazione standard della media delle precipitazioni
V [km/h]	velocità media annuale del vento
E [°C]	escursione delle temperature medie annuali
σE[°C]	deviazione standard dell'escursione delle temperature medie annuali

gradi giorno	**Zona Climatica**	**Periodo di riscaldamento annuale**	**ore di funzionamento**
2404	E	dal 15 ott al 15 Apr	14 ore

Stazioni di rilevamento da cui sono stati estratti i dati climatici:

- *Milano Linate*
- *Milano Malpensa*
- *Milano Juvara*
- *I.S.T.A.T. (istituto Nazionale di Statistica)*
- *U.N.I. (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)*
- *C.T.I. 2000 (Comitato Termotecnico Italiano, Energia e Ambiente)*
- *A.R.P.A. Lombardia (Agenzia Reginale per la Protezione Ambientale)*

CODICE SCHEDA B1.1

SCHEMA	B1
FOGLIO	1

Dati Climatici	*Milano*
Irradianza sul piano orizzontale	[W/m²]

Descrizione

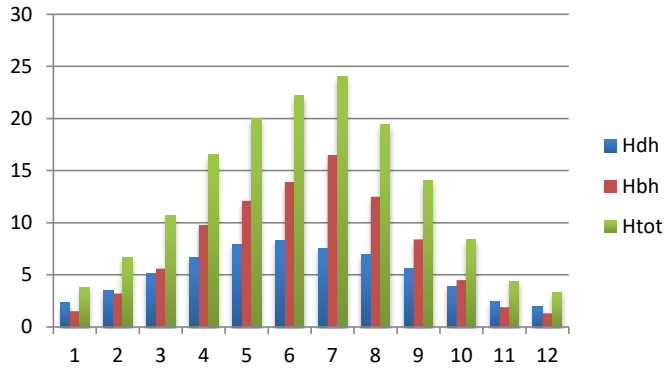
L'irradianza viene definita come la fluenza di radiazione elettromagnetica, ovvero la densità di corrente termica trasmessa per irraggiamento su un'unità di superifie [W/m²]. Varia al variare delle coordinate geografiche.

- Altitudine 12 m.s.l.m.
- Latitudine 45°28'38" Nord
- Longitudine 09°10'53" Est

Caratteristiche di progetto

Irradianza sul piano orizzontale	$H_{tot}=H_{dh}+H_{bh}+R$	[MJ/m2]
Media mensile dell' irradianza sul piano orizzontale	H_{tot}	[MJ/m2]
Media mensile della radiazione diretta sul piano orizzontale	H_{bh}	[MJ/m2]
Media mensile della radiazione diffusa sul piano orizzontale	H_{dh}	[MJ/m2]
Albedo	R	[MJ/m2]

	Mese											
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
H_{dh}	2,3	3,5	5,1	6,7	7,9	8,3	7,5	6,9	5,6	3,9	2,5	2
H_{bh}	1,5	3,2	5,6	9,8	12,1	13,9	16,5	12,5	8,4	4,5	1,9	1,3
H_{tot}	3,8	6,7	10,7	16,5	20	22,2	24	19,4	14	8,4	4,4	3,3



Fonte: prospetto VIII Norma UNI 10349, 1994.

Considerazioni di progetto

L'irradianza è minima durante il mese di Dicembre, mentre la massima irradianza si ha durante il mese di Luglio. Albedo è definito come il rapporto tra la radiazione riflessa da una superficie e la radiazione incidente su di essa. Essendo una frazione adimensionale, l'albedo è espresso in percentuale su una scala da zero paragonabile ad un potere riflettente di una superficie perfettamente nera, a 1 per il riflesso di una superficie bianca.

CODICE SCHEDA B1.2

SCHEMA	**B1**
FOGLIO	**2**

Dati Climatici	***Milano***
Irradianza sul piano verticale	[W/m²]

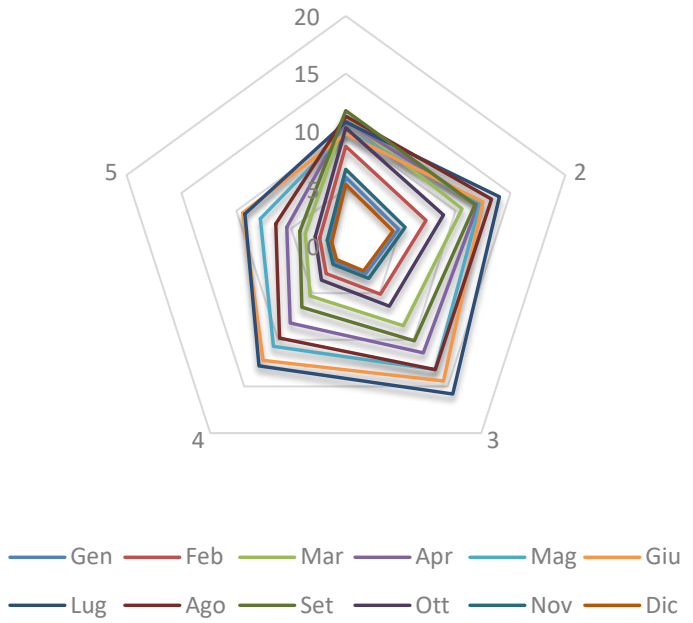
Descrizione

L'irradianza viene definita come la fluenza di radiazione elettromagnetica, ovvero la densità di corrente termica trasmessa per irraggiamento su un'unità di superifie [W/m²]. Varia al variare delle coordinate geografiche.

- Altitudine 12 m.s.l.m.
- Latitudine 45°28'38'' Nord
- Longitudine 09°10'53'' Est

Caratteristiche di progetto

	Mese											
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
Sud	6	8,7	11,2	10,9	10	9,8	10,8	11,3	11,8	10,3	6,7	5,4
SudEst-SudOvest	4,8	7,3	10,6	12,1	12,3	12,5	14	13,3	11,8	8,9	5,4	4,3
Est-Overst	2,9	5,1	8,5	11,4	13,2	14,4	15,8	13,2	10,1	6,4	3,4	2,6
NordOvest-NEst	1,6	2,9	5,3	8,2	10,7	12,2	12,8	9,8	6,5	3,6	1,9	1,4
Nord	1,5	2,4	3,7	5,4	7,8	9,4	9,2	6,4	4,2	2,8	1,7	1,3



Fonte: prospetti IX, X, XI, XII and XIII Norma UNI 10349, 1994

Considerazioni di progetto

L'analisi dell'irraggiamento sul piano verticale mostra che i livelli di irraggiamento variano di orientamento durante l'anno. Da Ottobre a Marzo il massimo irraggiamento è garantito da superfici verticali rivolte a Sud, invece, nella tarda primavera ovvero nei mesi di Maggio, Giugno e Luglio, il massimo irraggiamento sarebbe captato da superfici rivolte ad Est e Ovest.

Tutte le superfici esposte a nord ricevono una radiazione solare media mensile inferiore agli altri orientamenti.

CODICE SCHEDA B1.3

SCHEMA	B1
FOGLIO	3

Dati Climatici	*Milano*
Irradianza massima sul piano verticale	[W/m²]

Descrizione

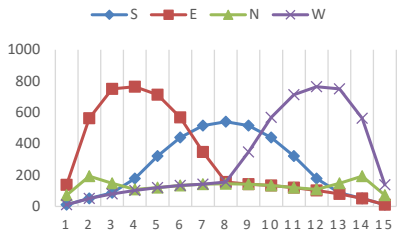
L'irradianza viene definita come la fluenza di radiazione elettromagnetica, ovvero la densità di corrente termica trasmessa per irraggiamento su un'unità di superifie [W/m²]. Varia al variare delle coordinate geografiche.

- Altitudine 12 m.s.l.m.
- Latitudine 45°28'38" Nord
- Longitudine 09°10'53" Est

Caratteristiche di progetto

ore	Orientamento								Radiazione	
	S	S-E	E	N-E	N	N-O	O	S-O	Dif	Hor
5	11	58	137	143	71	11	11	11	11	30
6	50	312	562	511	192	50	50	50	50	198
7	86	509	750	595	147	79	79	79	79	381
8	177	631	764	536	109	102	102	102	102	552
9	321	679	713	402	120	120	120	120	120	698
10	439	655	568	234	133	133	133	140	133	810
11	515	576	347	148	141	141	141	250	141	881
12	541	427	156	144	144	144	156	427	144	909
13	515	250	141	141	141	146	347	567	141	881
14	439	140	133	133	133	234	568	655	133	810
15	321	120	120	120	120	402	713	679	120	698
16	177	102	102	102	109	536	764	631	102	552
17	86	79	79	79	147	595	750	509	79	381
18	50	50	50	50	192	511	562	312	50	198
19	11	11	11	11	71	143	137	56	11	30

Massimo estate irraggiamento solare [W/m²] su superfici con diversa posizione



Fonte: Norma UNI 10349, 1994

CODICE SCHEDA B1.4

SCHEMA	**B1**
FOGLIO	**4**

Dati Climatici	***Milano***
Irradianza massima al variare dell'angolo d'incidenza	[W/m^2]

Descrizione

L'intensità di irraggiamento solare dipende dall'angolo incidente ed è massima quando colpisce perpendicolarmente una superficie.

Caratteristiche di progetto

ore	**Orientamento**								**Radiazione**
	S	**S-E**	**E**	**N-E**	**N**	**N-O**	**O**	**S-O**	**Hor**
5	90°	70,5°	26,0°	20,3°	64,7°	90°	90°	90°	64,5°
6	90°	61,4°	21,5°	33,1°	75,2°	90°	90°	90°	74,7°
7	90°	54,7°	26,0°	46,1°	85,3°	90°	90°	90°	64,5°
8	85,4°	51,2°	36,3°	59,1°	90°	90°	90°	90°	54,1°
9	77,4°	51,7°	48,7°	71,9°	90°	90°	90°	90°	43,9°
10	71,1°	56,1°	62,3°	84,3°	90°	90°	90°	90°	34,5°
11	66,9°	63,4°	76,1°	90°	90°	90°	90°	83,9°	27,4°
12	65,5°	72,9°	90°	90°	90°	90°	90°	72,9°	24,9°
13	66,9°	83,9°	90°	90°	90°	90°	76,1°	63,5°	27,4°
14	71,1°	90°	90°	90°	90°	84,3°	62,3°	56,1°	34,5°
15	77,4°	90°	90°	90°	90°	71,9°	48,9°	51,7°	43,9°
16	85,6°	90°	90°	90°	90°	59,1°	36,3°	51,3°	54,1°
17	90°	90°	90°	90°	85,3°	46,1°	26,1°	54,7°	64,5°
18	90°	90°	90°	90°	75,2°	33,0°	21,5°	61,5°	74,7°
19	90°	90°	90°	90°	64,7°	20,5°	26,1°	70,6°	84,5°

Massimo estate irraggiamento solare [W/m^2] su superfici con diversa posizione

Fonte: Norma UNI 10349, 1994

CODICE SCHEDA B1.5

SCHEMA	**B1**
FOGLIO	**5**

Dati Climatici	***Milano***
Irradianza massima sul piano verticale	[W/m²]

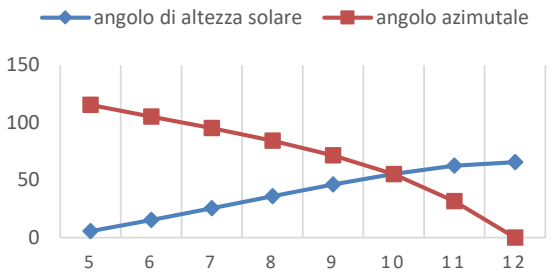
Descrizione

L'angolo di altezza solare è l'angolo tra il sole e il piano orizzontale. L'angolo azimutale è l'angolo tra il piano meridiano e il percorso del sole che passa attraverso l'angolo di zenit Sud. Nel corso della mattinata, l'angolo azimutale è di 0 ° (o 180 ° se si inizia da nord).

$\Phi_{milan} \approx 46°$

Caratteristiche di progetto

Ore	5	6	7	8	9	10	11	12
angolo di altezza solare	5,5	15,3	25,5	35,9	46,1	55,4	62,6	65,5
angolo azimutale	115,5	105,3	95,2	84,3	71,6	55,1	31,5	0



Fonte: Norma UNI 10349, 1994

CODICE SCHEDA B1.6

SCHEMA	**B1**
FOGLIO	**6**

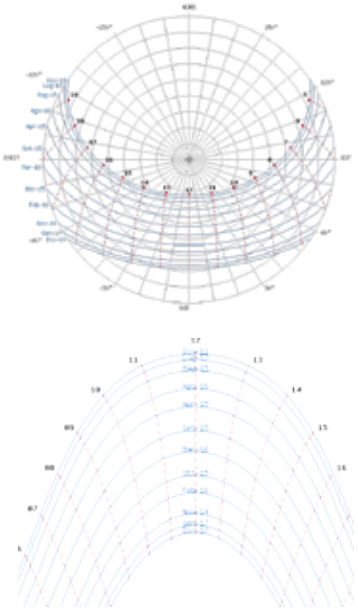
Dati Climatici	***Milano***
Percorso solare	

Descrizione

I diagrammi mostrano il percorso che compie il sole (in termini di altitudine solare e azimuth). Il giorno di ogni mese rappresentato, è scelto in modo che la declinazione solare possa coincidere con quella media del mese rappresentato. In un riferimento polare, i raggi si uniscono i punti di uguale azimut, mentre i cerchi concentrici uniscono i punti di uguale altezza. I cerchi sono disegnati con un passo di 10° partendo dalla circonferenza più esterna (h=0°) fino al punto centrale (h=90°). Ma in un riferimento cartesiano, l'altezza e angoli di azimut solari sono mostrati rispettivamente sugli assi ascissa e ordinata. In entrambi i diagrammi, in tratteggio vengono stabilite le linee relative tempo solare vero, diverso dal tempo medio degli orologi.

Caratteristiche di progetto

Milano	Via Palermo
Latitudine	45°29'
Longitudine	9°11'



Fonte: Central Office of Meteorology and Agricultural Ecology (from 1930); ISTAT elaboration of National Hydrographic Sevice data.

CODICE SCHEDA C1.1

SCHEMA	C1
FOGLIO	1

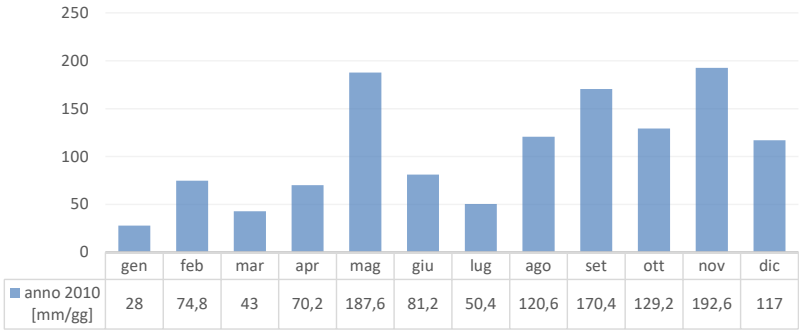
Dati Climatici	*Milano*
Eventi meteorici	[mm]

Descrizione

Il rilevamento delle precipitazioni è un parametro molto variabile durante gli anni, quindi, difficile da prevedere. Comunque, è possibile calcolare un livello massimo e minimo di intensità e l'altezza delle acque piovane analizzando i dati su un lungo periodo di tempo (50 anni). Quest'analisi è utile al fine di progettare il sistema di drenaggio che tiene conto dei soli eventi critici. Inoltre i valori ricavati, sono utili per considerare la possibilità di un impianto di raccolta dell'acqua piovana.

Caratteristiche di progetto

Precipitazioni [mm]	**Mese**											
	Inverno			***Primavera***				***Estate***			***Autunno***	
	Gen	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*Mag*	*Giu*	*Lug*	*Ago*	*Set*	*Ott*	*Nov*	*Dic*
Media annuale						884						
Media stagionale		26,4			47,5			49,2			53,4	
Media mensile	27,1	22,4	29,6	54,1	56,2	32,3	41,2	57,7	48,7	49	88,3	22,9
Giorni di pioggia	*6*	*6*	*6*	*8*	*8*	*7*	-	-	-	*8*	*14*	*5*



Fonte: Ufficio Centrale di Meteorologia e di Ecologia Agraria (dal 1930); ISTAT elaborazione su dati Servizio Idrografico Nazionale.

CODICE SCHEDA C1.2

SCHEMA	**C1**
FOGLIO	**2**

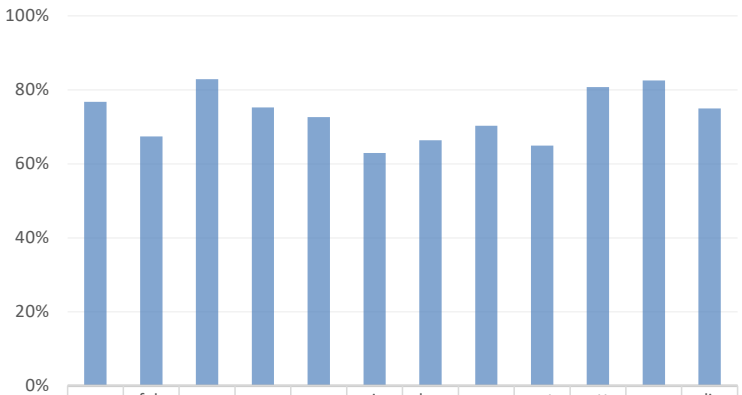
Dati Climatici	***Milano***
Umidità relativa	[]

Descrizione

Il rilevamento delle precipitazioni è un parametro molto variabile durante gli anni, quindi, difficile da prevedere. Comunque, è possibile calcolare un livello massimo e minimo di intensità e l'altezza delle acque piovane analizzando i dati su un lungo periodo di tempo (50 anni). Quest'analisi è utile al fine di progettare il sistema di drenaggio che tiene conto dei soli eventi critici. Inoltre i valori ricavati, sono utili per considerare la possibilità di un impianto di raccolta dell'acqua piovana.

Caratteristiche di progetto

Umidità relativa [%]	**Mese**											
	Inverno			***Primavera***			***Estate***			***Autunno***		
	Gen	*Feb*	*Mar*	*Apr*	*Mag*	*Giu*	*Lug*	*Ago*	*Set*	*Ott*	*Nov*	*Dic*
Media annuale						73,16						
Media stagionale		76			70			67			79	
Media mensile	77	67	83	75	73	63	66	70	65	81	83	75



	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Umidità rel. [mm]	76,75	67,43	82,88	75,26	72,63	62,96	66,42	70,29	64,93	80,76	82,55	75

Fonte: Comitato Termotecnico Italiano (CTI). Dati meteo di Milano degli ultimi 10 anni.

CODICE SCHEDA D1.1

SCHEMA	D1
FOGLIO	1

Dati Climatici	*Milano*
Analisi del vento	[m/s]

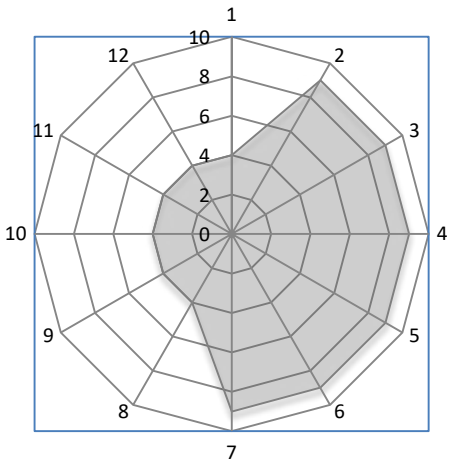
Descrizione

Una corretta analisi dei venti dominanti (incidenti sull'area di progetto) richiederebbe una quantità eccessiva di tempo e di strumenti specifici per le misurazioni, quindi troppo costoso per sito di costruzione di medie dimensioni.

Poiché il progetto è situato all'interno di una zona ad alta densità, sarebbe utile ottenere dei valori del vento accurati e pertinenti al sito di progetto. Pertanto sono stati analizzati i dati relativi alla vicina stazione di rilevamento di Brera. I valori ricavati sono stati utilizzati con software specifici per le simulazioni fluidodinamiche che prendono in considerazione l'interazione del vento con gli edifici circostanti l'area di progetto.

Caratteristiche di progetto

Caratteristiche del vento	Mese											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Direzione media mensile	O-SO	O-SO	O-SO	O-SO	S-SO	S-SO	S-SO	S-SO	O-SO	S-SO	S-SO	S-SO
Velocità media mensile [m/s²]	*4*	*9*	*9*	*9*	*9*	*9*	*9*	*4*	*4*	*4*	*4*	*4*



velocità del vento media annuale	1 km/h
direzione del vento media annuale	Sud-Est

Considerazioni di progetto

La UNI 10349 non è adeguata per un'analisi del vento approfondita dell'area di progetto. Essa fornisce solo la media annuale della velocità del vento e la direzione relative a Milano.

Fonti:

dati climtici di Milano-Linate degli ultimi 30 anni

ilmeteo.it Milano-Linate

dati ISTAT prospetto XIV

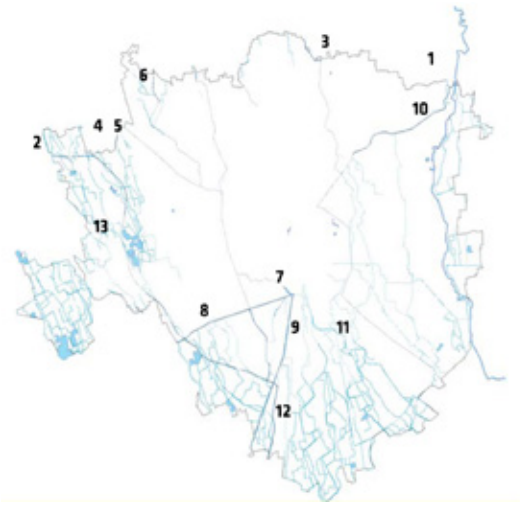
CODICE SCHEDA E1.1

SCHEMA	**E1**
FOGLIO	**1**

Dati Climatici	***Milano***
Idrografia	

Descrizione

L'idrografia della zona di Milano è complessa a causa dei molti interventi fatti nel corso dei secoli.



Elenco corsi d'acqua censiti
Reticolo Idrico Principale

1. Fiume Lambro
2. Fiume Olona
3. Torrente Seveso
4. Torrente Garbogera
5. Torrente Pudiga/Lombra/Mussa
6. Torrente Nirone/Fugone/Merlata/Guisa
7. Darsena
8. Naviglio Grande
9. Naviglio Pavese
10. Naviglio Martesana
11. Cavo Redefossi
12. Colatore Lambro Meridionale
13. Scolmatore Olona

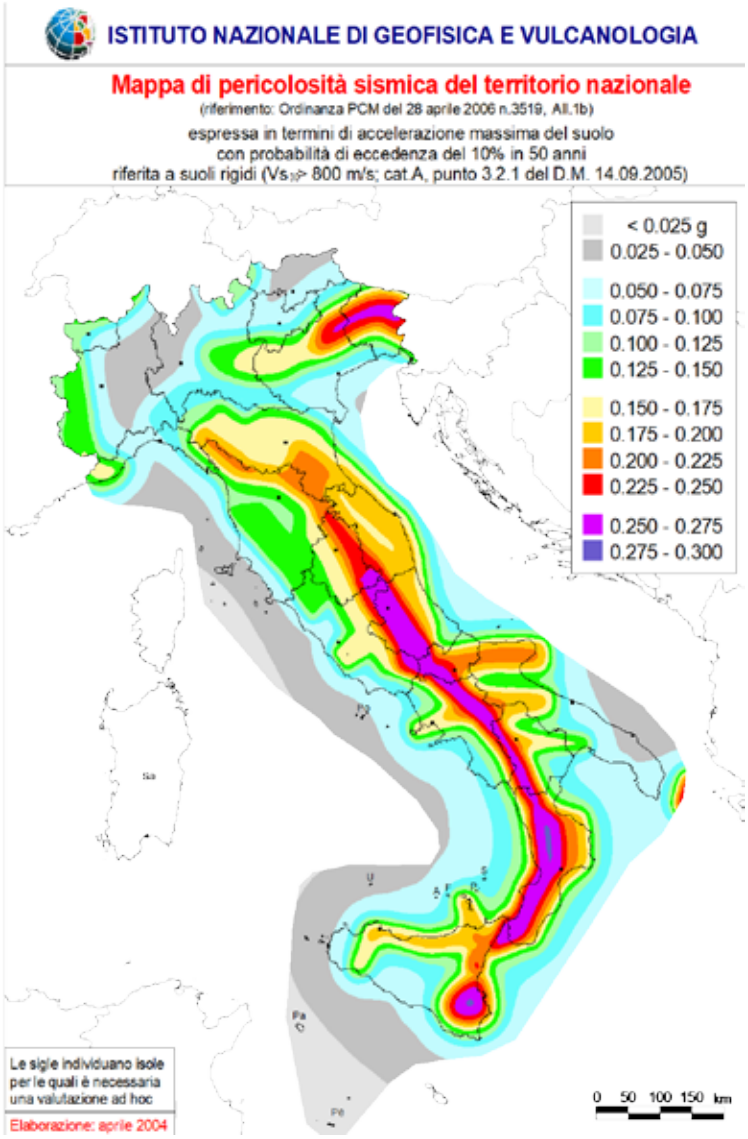
CODICE SCHEDA F1.1

SCHEMA	F1
FOGLIO	1

Dati Climatici	*Milano*
Analisi Sismica	

Descrizione

L'area di Milana ha un valore di sismicità basso.



PROGETTO

COMPASSO VOLANTE

premio Ettore Zambelli 2012

capitolo 01

1.1 PREMIO ETTORE ZAMBELLI

Il concorso di progettazione Premio Compasso Volante, nato nel 1998 grazie alla stretta collaborazione tra la Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura del Politecnico di Milano, con i professori Ettore Zambelli (scomparso nel 2010, al quale è stato dedicato il premio) e Marco Imperadori, con altre prestigiose università europee e asiatiche, è giunto alla sua quattordicesima edizione. Il Premio Compasso Volante, più che una competizione in senso stretto, è un articolato laboratorio di progettazione in cui professori e studenti sono coinvolti nell'elaborazione di un tema complesso, che viene individuato annualmente. Lo stimolo creativo e la sua traduzione in concreti elaborati costruttivi derivano da una continua comparazione dialettica tra persone e università, che condividono una concezione comune dell'architettura e del suo rapporto con la tecnologia. Questa dimensione dialogica del lavoro progettuale, unita alla possibilità di indurre occasioni per proficui e ricchi scambi culturali, è la vera forza della manifestazione.

1.1.1 EDIZIONE 2012

Il progetto Cigno è il risultato di un prezioso percorso iniziato nel Marzo 2012 a seguito della selezione di sei gruppi conseguente alla consegna del laboratorio del corso di Innovazione della Facoltà Ingegneria Edile-Architettura.

Quest'esperienza unica ha comportato la partecipazione a viaggi, concorsi e interazione con diverse realtà quali il Giappone, l'Indonesia, Singapore e Palermo per un totale di 24 progetti partecipanti. Di seguito sono elencate le persone della nostra facoltà che ci hanno accompagnato in questo percorso formativo di crescita didattica e personale.

- Matteo Brambati, Daniel Macetti e Felice Occhiuto
- Petra Fioravanti, Pietro Giamei e Miriam Grassi
- Serenella Mauri, Elena Molteni e Chiara Valsecchi
- Elia Canclini, Stefano Perossi e Alessandro Regazzoni
- Nicola Falcone, Chiara Zanello e Valentina Zorzi
- Cristian Belfiore e Massimiliano Giani

Guidati dal Prof. Ing. Marco Imperadori, dall'Arch. Roberto Francieri, dal Prof. Ing. Matteo Brasca, dal Prof. Ing. Gabriele Masera, dall'Ing. phD Cristina Puscedd.

Tema di progetto

Il tema della edizione 2012, Smart Architecture in Milano City Center, è la progettazione di un edificio multifunzionale, situato nel centro di Milano. Il progetto ha l'obiettivo di contribuire alla riqualificazione di un'area abbandonata, stranamente trascurata da tutti i piani strategici di riqualificazione. La destinazione d'uso dell'edificio è una combinazione di spazi residenziali, spazi culturali, ristoranti e aree espositive. L'area di progetto copre una superficie di circa 700 m^2. Gli studenti, che partecipano al concorso, hanno formulato un intervento utilizzando strategie progettuali che riducano al minimo l'impatto ambientale consentendo prestazioni di edifici ad energia quasi zero, anche attraverso l'utilizzo di innovazioni tecnologiche. I progetti partecipanti sono stati sviluppati nell'ambito di un laboratorio internazionale articolato in workshop interdisciplinari a cui hanno partecipato studenti del Politecnico di Milano, dell'Università degli Studi di Palermo, della Kogakuin University di Tokyo, del Singapore Polytechnic e dell'Universitas Indonesia di Jakarta.

Bando di concorso

Di seguito è riportato un estratto del bando di concorso dal quale siamo partiti per la progettazione di White Swan.

PROGRAMME 2012 EDITION

Students participating in the competition will design a multifunctional building with these characteristics:

- minimised environmental impact (energy, materials, water, etc.);
- cutting-edge technologies, considering EU legislation about nearly zero energy buildings (2020);
- technological design innovation.

The multifunctional building, located in the centre of Milano (see site survey attachment) should contribute to the rehabilitation of a depressed area, strangely neglected by all redevelopment strategy plans. The building is a combination private and public spaces.
The area of the project site is around 706 m^2.

The functional program provides a multi-level building including:

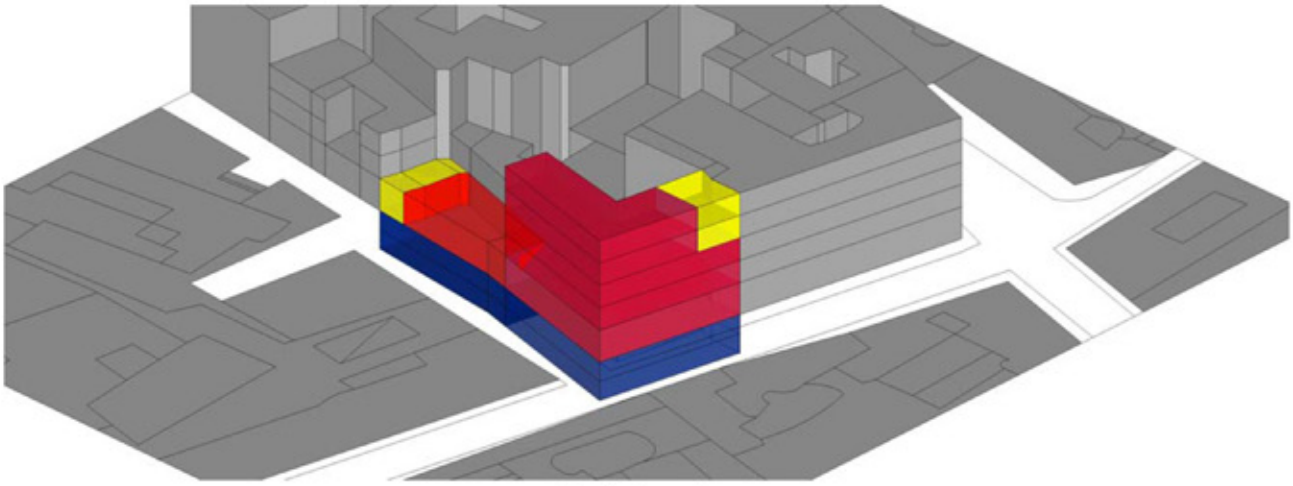
- Below ground: 2 levels, containing spaces for the youth gathering or cultural activities (exhibition, spaces for music, library, etc). The underground levels could be extended to the plot boundaries.
- Ground floor: cultural activities ((exhibition, spaces for music, library, meeting point, literary/technological cafeteria, info point for the city, quarter services, etc) without commercial spaces. The ground floor could be higher than the stories above.
- Middle core: 4 levels of housing with different sizes for different targets.
- Top floor: could also be dedicated to a public space such as Restaurant/Cafeteria/Panoramic loggia. If present, this space should have a direct/independent link to the street.

The building must not exceed the stories as in the following schemes; in particular not exceeding 5 stories or the height of neighboring buildings.

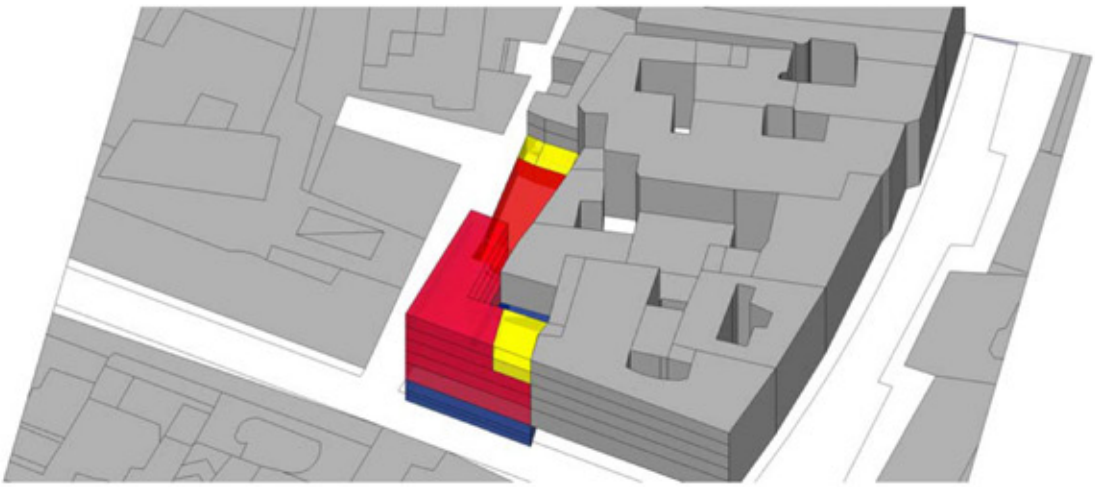
The project should be worked out at detailed level (1:20 scale) and should include calculations about energy efficiency, use of renewable energy etc., besides general drawings, renderings etc.
Material to be delivered in September: 4 x A1 posters.

Visual volume

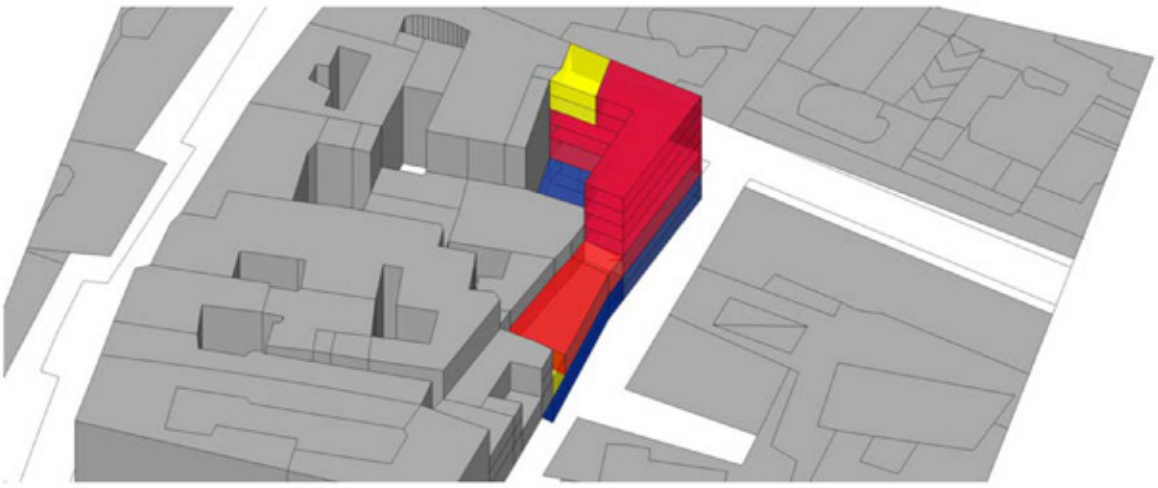
RED = max buildable volume
YELLOW = not buildable volume (correspondence to windows of surrounding buildings)
BLACK =underground buildable area (whole surface of the lot)



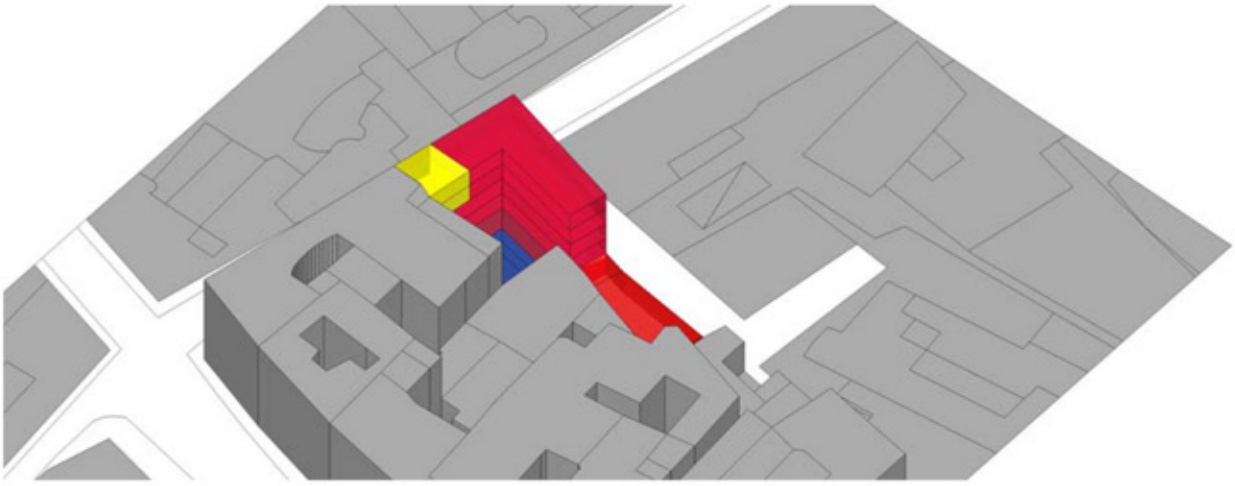
North-East view



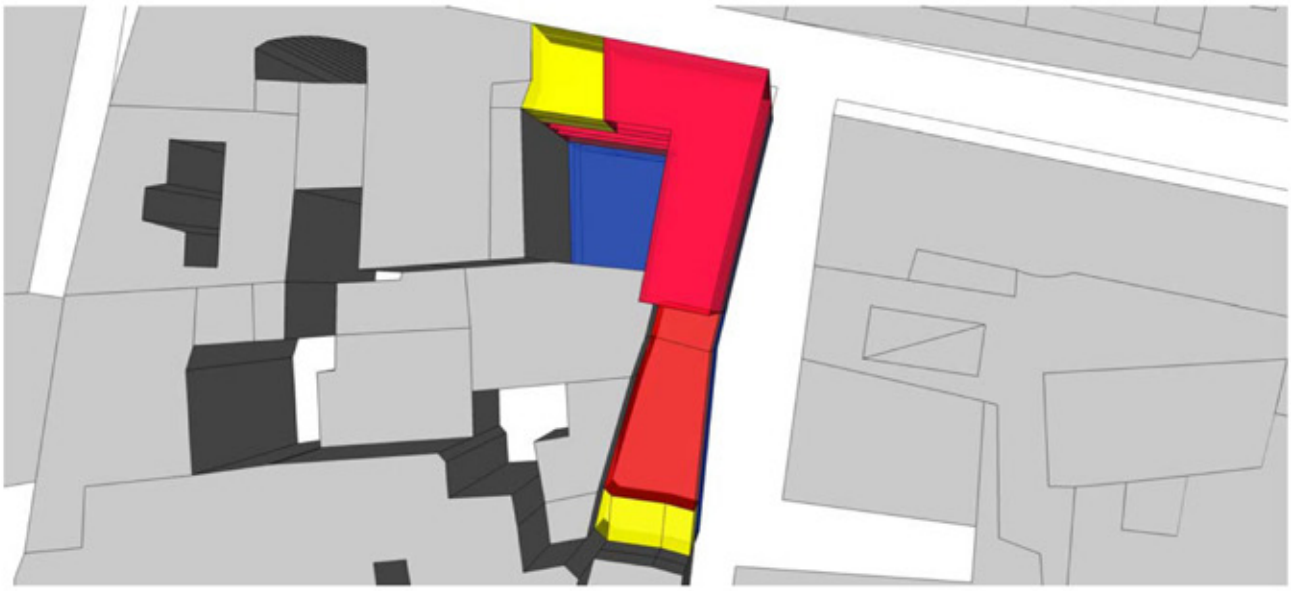
North-West view



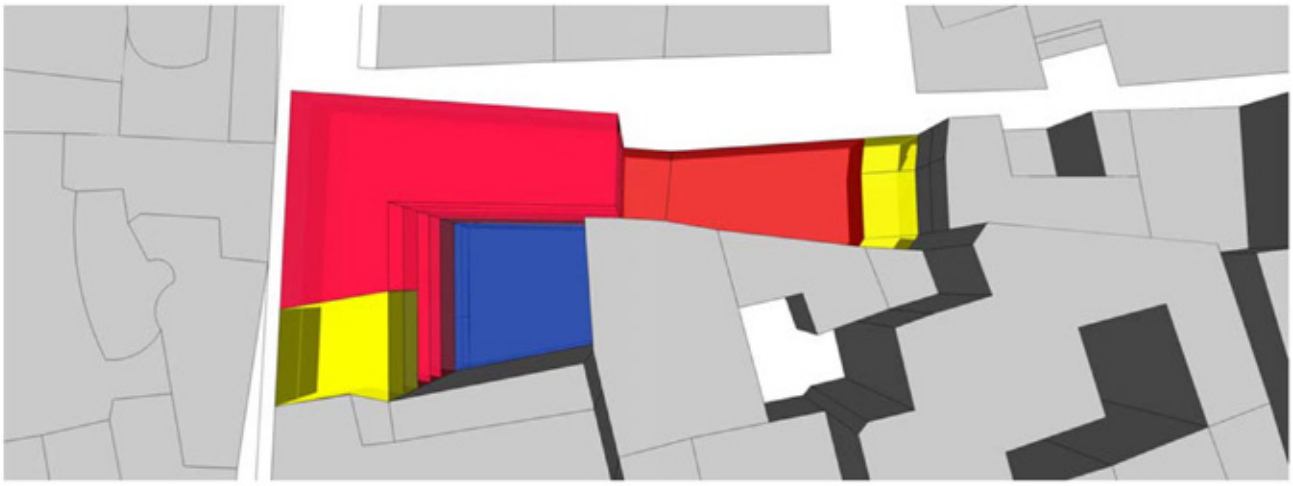
South East view



South West view



Aereal view 1



Aereal view 2

Site view infomations

Via Palermo 19, Milano - Area: 706,67 m²

Aereal vieww

Street view

1.2 ESPERIENZE

1.2.1 THE CUBE

19 Marzo 2012 - Milano

Accompagnati dal prof. Imperadori ed accolti dall'architetto Filippo Pagliani, abbiamo avuto l'occasione di visitare il padiglione 'The Cube', montato in cima alla Galleria di corso Vittorio Emanuele a fianco al Duomo. Quest'edificio consiste in una edificio temporaneo o meglio itinerante progettato per essere spostato. Ad oggi questo progetto è stato inserito in contesti storici molto particolari nelle città di: Parigi, Milano, Bruxelles, Londra e Stoccolma.

Il padiglione è composto da un vasto open space con cucina a vista e un unico grande tavolo con 18 posti in grado di scomparire alzandosi verso il soffitto a formare un'area lounge per il dopocena. La superficie totale di 140 mq circa, è suddivisa tra l'open space e la terrazza di 50 mq. I materiali impiegati, altamente innovativi dal punto di vista tecnologico, di ecosostenibilità e di risparmio energetico, permettono un loro riutilizzo costante. Anche all'interno vengono utilizzate soluzioni tecnologiche di altissimo livello, per l'illuminazione, il sistema termico, la diffusione sonora e naturalmente per tutta l'attrezzatura della cucina.

La costruzione mantiene le caratteristiche di leggerezza e versatilità di uno stand espositivo pur avendo la complessità progettuale di un edificio.

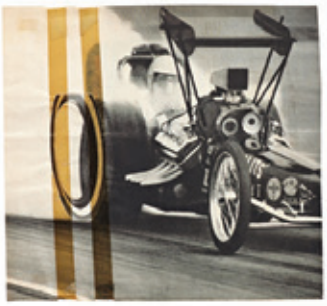
1.2.2 MUSEO DEL NOVECENTO

28 Marzo 2012 – Milano

A seguito della visita guidata di Milano tenuta dal prof. Franceri, abbiamo avuto l'occasione di visitare il museo durante l'inaugurazione della mostra allestita nella Sala Focus 'Beppe Devalle, Collages degli Anni Sessanta'.

La mostra consiste in tredici collages che risalgono agli inizi degli anni sessanta selezionati da Flavio Fergonzi.

'Devalle era invece interessato dall'operazione meccanica del ritaglio, e all'esito crudele della combinazione di immagini […] Questi collaggi non erano pensati come studi preparatori per dei quadri; rappresentavano, piuttosto la reazione a un nuovo bisogno di soggetto cui la pittura non sapeva più dare risposte […] Devalle capì che quei prelievi fotografici, e quegli accostamenti, potevano costituire per la pittura una specie di nuovo trattato di armonia'.



1.2.3 QUARTIERE LE ALBERE

30 Marzo 2012 – Trento

Visitando il cantiere del quartiere 'Le Albere' è stato possibile osservare da vicino un intervento di riqualificazione della città e di sviluppo del territorio.

La nuova area urbana, sviluppata da Castello SGR e progettata da Renzo Piano, rappresenta un vero e proprio di segno di riqualificazione civica e sociale, che dona a Trento un 'nuovo pezzo di centro storico'. Il progetto consiste in un intervento di riqualificazione della città e di sviluppo del territorio.

Accompagnati dal prof. Gabriele Masera, siamo stati guidati in un visita attraverso il cantiere dove è stato possibile ammirare la costruzione di un complesso in classe Leed silver. L'intervento consiste nella realizzazione di spazi ad uso misto che riqualificano l'area ex Michelin sulle rive dell'Adige ed in particolare di 110mila metri quadrati di intervento su oltre 200mila mq di superficie, destinati a residenziale, retail e uffici , oltre a 17mila mq destinati a un museo dedicato alla scienza.Dopo la visita guidata abbiamo avuto l'onore di partecipare ad un convegno di professionisti sul quartiere stesso, in cui è intervenuto anche l'Ing. Gabriele Masera.

1.2.4 FUORISALONE

19-22 Aprile 2012 - Milano

Il Fuorisalone 2012, evento annuale importante per la città di Milano ha rappresentato l'occasione di conoscere tutti gli studenti dell'Università di Palermo, partecipanti al PCV 2012 ed avere un primo confronto sugli sviluppi del progetto.

Durante queste giornate si è visitato Velux Lab e la Pinacoteca Ambrosiana.

1.2.5 TEATRO ALLA SCALA

11 Maggio 2012

Un'esperienza unica che ci ha portato a conoscere la storia del Teatro e visitare luoghi del teatro più nascosti Una visita didattica che ci ha permesso di osservare come l'architettura del teatro, delle forme e degli spazi si unisca imprescindibilmente all'ingegneria e allo studio di tutte le componenti fondamentali di un ambiente come questo.

1.2.6 CASA MUSEO ACHILLE CASTIGLIONI

17 Maggio 2012 – Milano

Visitando le quattro stanze dello studio Achille Castiglioni è stato possibile osservare prototipi e modellini, tecnigrafi e molte curiosità e oggetti anonimi raccolti dallo stesso Achille Castiglioni. Un esperienza unica e suggestiva quella di vedere lo studio di chi ha vissuto da protagonista la stagione d'oro del design italiano, con la produzione di oltre 150 pezzi di eccellenza.

Oltre alla conoscenza delle opere di quest'autore, la visita alla sua casa museo è stata una fonte di ispirazione per la nostra concezione di progettazione.

1.2.7 CANTIERI DI MILANO PORTA NUOVA

25 Maggio 2012 – Milano

La visita al cantiere di Porta Garibaldi ed in particolare dell'edificio realizzato dallo studio piùARCH è stata accompagnata da un ex studente EDA.

Il progetto di riqualificazione urbana ed architettonica di ampie zone dei quartieri Isola, Varesine e Garibaldi di Milano prevede l'edificazione di edifici con un carattere tecnologico e contemporaneo ed è parte dei progetti previsti per l'EXPO 2015.

E' stata posta maggiore attenzione sull'edificio del gruppo piuARCH, grazie alla guida di Gino Garbellini, che ci ha illustrato sviluppo e particolari del progetto.

1.2.8 IL VIAGGIO

6-17 Giugno 2012

Macao

Un'esperienza ricca e affascinante in un contesto completamente nuovo e sorprendente. Per una settimana abbiamo visitato Macao, la seconda regione dopo (Hong Kong) a statuto speciale della Repubblica popolare cinese. Fondata economicamente sul gioco d'azzardo, si mostra come una regione dove convivono ricchezza e povertà estreme.

Carlos Marreiros

Durante questa settimana di forte esperienza, abbiamo potuto incontrare Carlos Marreiros, progettista di fama mondiale al quale sono stati sottoposti i progetti del PCV 2012, e Josè Luis de Sales Marques, preside dell'istituto degli Studi Europei di Macau.

La China - Zhuhai

Altrettanto interessante e stimolante è stata la giornata di visita a Zhuhai in cui abbiamo potuto conoscere e vivere la cultura cinese visitando un immenso mercato interrato cinese appena dopo aver attraversato la frontiera tra Macau e la Cina.

Il villaggio dei pescatori - Coloane

La visita a questo villaggio ha mostrato la povertà che circonda città ricche come Macau. Coloane è una delle due isole di Macau a Sud dell'isola di Taipa.

La vista sulle future costruzioni che circonderanno questo villaggio ed accentua ancora di più i forti contrasti di questo paese.

Hong Kong

Una delle due città a statuto speciale della repubblica popolare cinese, Honk Kong è costituita da un'architettura molto particolare e affascinante.

Grazie ai prof. Basca e Franceri abbiamo visitato una delle città con più grattacieli al mondo, circa 1200.

Rocco Yim Architect Associates

Durante la nostra permanenza ad Hong Kong abbiamo avuto l'onore di visitare e partecipare ad una presentazione dei lavori dello studio dell'architetto contemporaneo Rocco Yim molto stimolante per il nostro progetto di concorso.

1.2.9 WORKSHOP

Hub Textile Workshop

11 Maggio 2012 - Milano

In quest'esperienza abbiamo avuto l'occasione di conoscere una realtà unica nel suo genere, ovvero uno spazio-laboratorio aperto a tutte le persone che desiderino vivere un'esperienza tessile. Questo spazio offre l'opportunità di realizzare manufatti di design in modo semplice e divertente. È un punto di incontro e di scambio che mette a disposizione materiali, strumenti e know-how.

Durante quest'esperienza abbiamo potuto realizzare delle tele artistiche che riguardano lo sviluppo e l'arricchimento del concept progettuale del concorso.

Il concorso a Macao

Durante la visita a Macao, abbiamo avuto l'occasione di partecipare ad una piccola competizione tra gli studenti del Politecnico di Milano che hanno partecipato al Compasso Volante che ha avuto come giudici l'architetto macanese Carlos Marreiros ed il presidente dell'Istituto degli Studi Europei (IEEM) Josè Luis de Sales Marques.

Di seguito è riportata la tavola di concorso.

PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012

ETTORE ZAMBELLI - XIV edizione

SMART ARCHITECTURE IN MILANO CITY CENTRE

Design of a sustainable multifuctional building

POLITECNICO DI MILANO

Gruppo 1: Belfiore Cristian

Giani Massimiliano

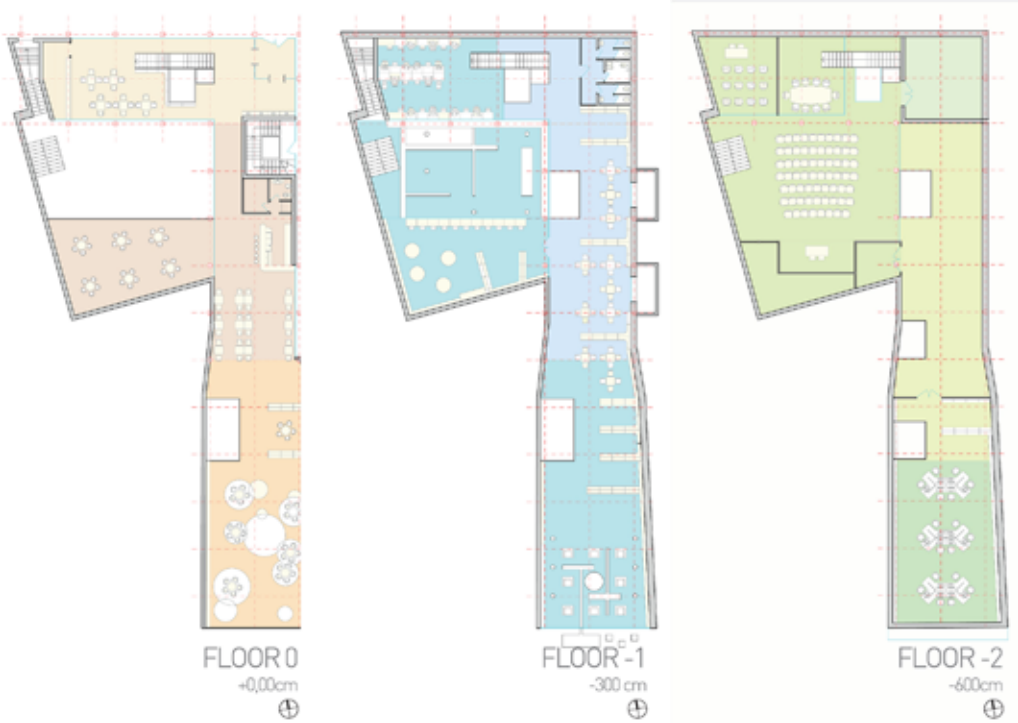
M.E.D. BRERA

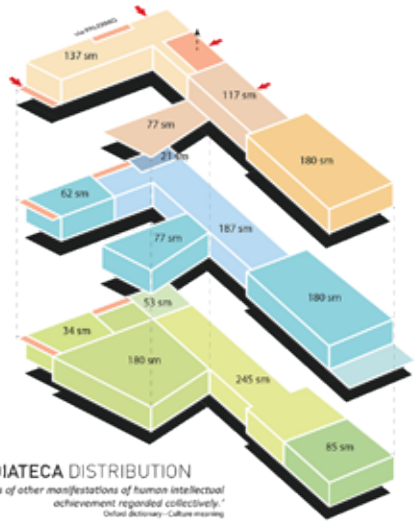
Mediateca Ecosustainable Digital supported

FLOOR 0
- COMMON SPACE
- VERTICAL DISTRIBUTION
- KIDS
- CAFE

FLOOR -1
- READING studying digital outdoor informal
- TOILETTE

FLOOR -2
- POLYFUNCTIONAL ROOMS
- AUDITORIUM
- EXHIBITION
- TECHNICAL IMPLANTS
- AUDIO-VIDEO

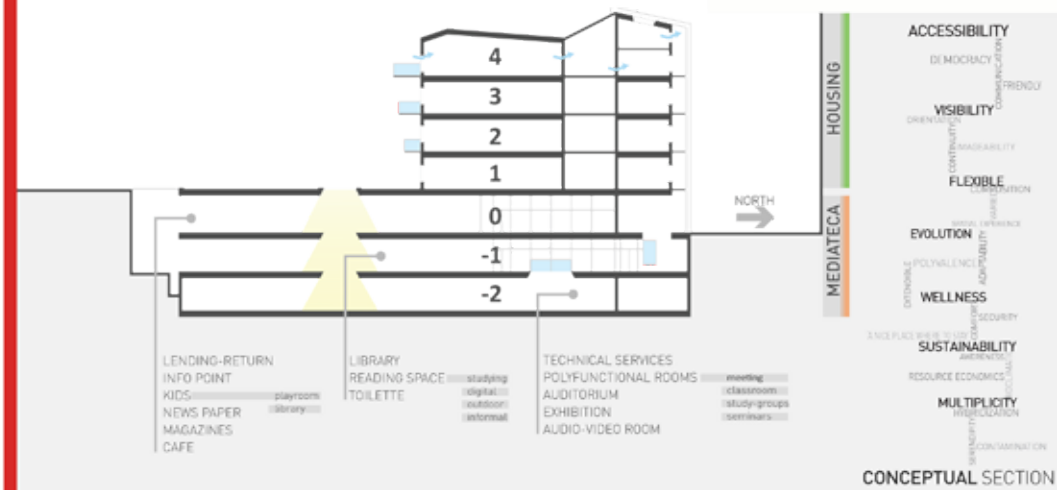




MEDIATECA DISTRIBUTION

'the arts of other manifestations of human intellectual achievement regarded collectively.'

Oxford dictionary - Culture meaning



CONCEPTUAL SECTION

PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012
ETTORE ZAMBELLI - XIV edizione

SMART ARCHITECTURE IN MILANO CITY CENTRE

Design of a sustainable multifuctional building

M.E.D. BRERA

Mediateca Ecosustainable Digitalsupported

POLITECNICO DI MILANO
Gruppo 1: Belfiore Cristian
Giani Massimiliano

DESIGN

HOUSING

FLEXIBILITY

I° FLOOR

[1:150]
+370cm

Apt. A _ 44 mq
Apt. B _ 53 mq
Apt. C _ 50mq

II° FLOOR

[1:150]
+720cm

Apt. A _ 44 mq
Apt. D _ 53 mq
Apt. E _ 50 mq

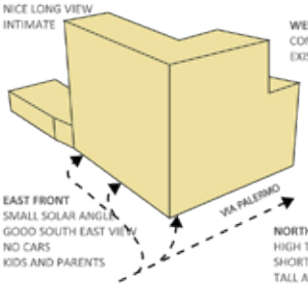
III° and IV° FLOOR

[1:150]
+1070cm
e 1420cm

Apt. F (G) _ 70 mq
Apt. H (I) _ 50 mq

SOUTH FRONT
HIGH SOLAR IMPACT
NICE LONG VIEW
INTIMATE

WEST FRONT
CONTACT WITH THE
EXISTENT BUILDING



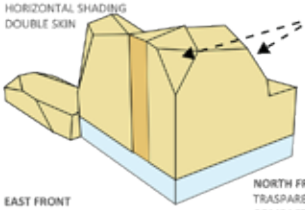
EAST FRONT
SMALL SOLAR ANGLE
GOOD SOUTH EAST VIEW
NO CARS
KIDS AND PARENTS

NORTH FRONT
HIGH THERMAL DISPERSION
SHORT VIEW
TALL AND TIGHT VOLUME

STRUCTURE
IN ORDER TO INCREASE THE INTERNAL SPACE AND SUSTAIN THE BALCONS, THE STRUCTURE BECOMES ARCHITECTURE.

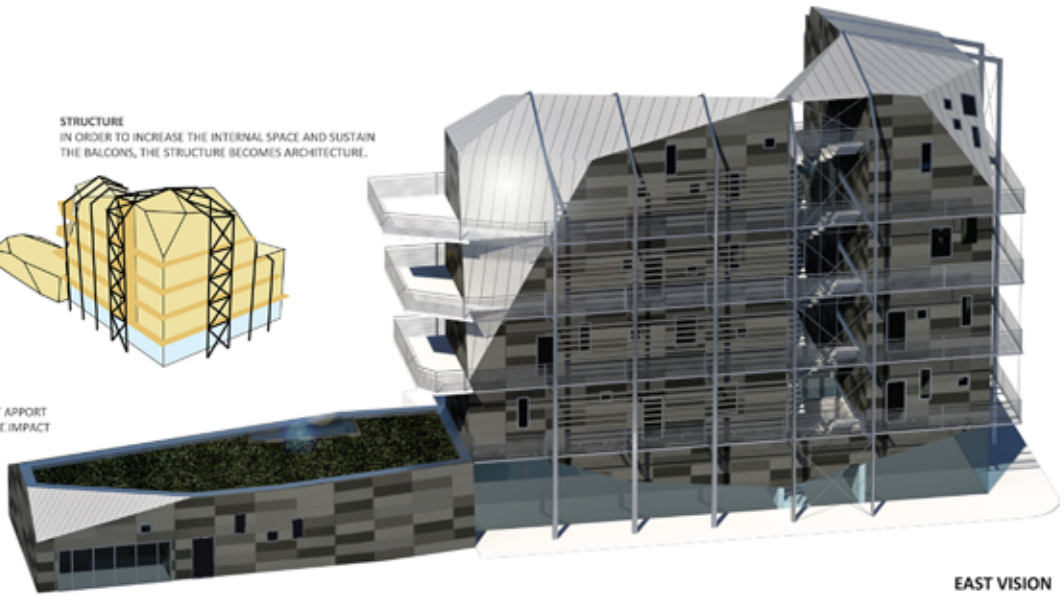
SOUTH FRONT
HORIZONTAL SHADING
DOUBLE SKIN

CUTS
-ENHANCE THE VIEW
ON THE STREET
-INCRESE THE SKY LIGHT APPORT
-DECREASE THE VOLUME IMPACT
-IMAGEABILITY



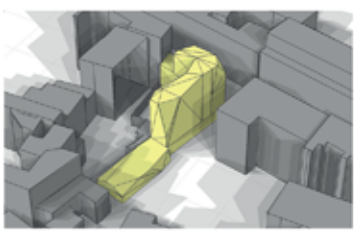
EAST FRONT
HORIZONTAL TIGHT BRISE SOLEIL
VERTICAL DISTRIBUTION
GREEN ROOF (library)

NORTH FRONT
TRASPARENCY (ground level)
COMPACT
HIGH INSULATION
HORIZONTAL DISTRIBUTION

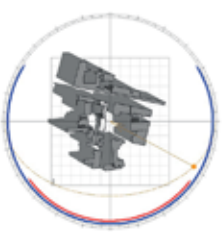


EAST VISION

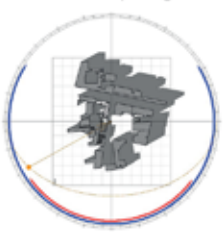
DAILY SHADOW - Spring and Autumn equinox



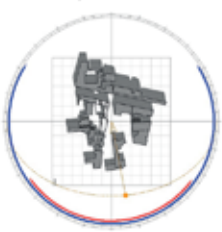
EAST VIEW



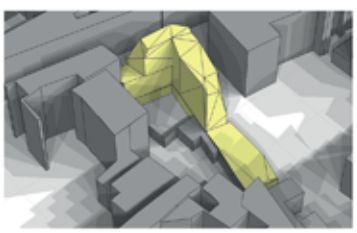
h. 9.00 a.m.



h. 12.00



h. 16.00 p.m.



WEST VIEW

Paperboard Shelter Workshop

4/5 Ottobre 2012 - ESPE Lecco

Il tema del workshop era la progettazione e la realizzazione di Shelter in Cartone, per chi aveva perso tutto nella catastrofe. Sotto la guida del Professor Giapponese Toshihiko Suzuki, studenti italiani, giapponesi e singaporiani si sono confrontati nel realizzare 'rifugi in cartone'. I diversi approcci al progetto, le tante idee emerse, il confronto attraverso la lingua straniera hanno dato vita ad una esperienza formativa ricca, piacevole e stimolante.

1.2.10 PREMIAZIONI

La cerimonia di Premiazione

La cerimonia di premiazione finale del PCV 2012 si è tenuta presso l'ESPE a Lecco:
Primo Classificato: *Brera 225*, di Elia Canclini, Stefano Perossi e Alessandro Regazzoni
"I Progetto si è distinto per la completezza e l'equilibrio compositivo, senza tralasciare aspetti tecnologici e la coerenza con il contesto milanese. Viene premiata la cura e la qualità del dettaglio sia sul piano costruttivo che formale."
Secondo Classificato: *Culture Park*, di Yusuke Kubo, Takafumi Ito, Shota Miura, Kogakuin Univeristy Tokyo
Terzo Classificato: *FR.A.M.E*, di Petra Fioravanti, Pietro Giamei e Petra Fioravanti

Urban Center

13 Ottobre 2013

Tutti i progetti che hanno partecipato al concorso sono stati esposti all'Urban Center di Milano in Galleria Vittorio Emanuele.
In questa sede, oltre a raccontare il percorso del Premio durante questi anni, sono stati presentati i progetti vincitori ed è stata inoltre proclamata una menzione aggiuntiva ad un quarto progetto:
Menzione particolare: Brera di Claudia Cecato, Manuela Mottareale, Laura Pisciotta, Maria Grazia Pizzo dell'Università degli studi di Palermo.

Di seguito è riportata la tavola di concorso del Premio Compasso Volante.

WHITE SWAN

MEDIATECA

Single tablet instead of thousands books | Knowledge | Technology for faster research

DIGITAL RELAX

Changeable interior design | Art showroom | Nature & lighting

PUBLIC FACILITIES

Kid's library | Public digital info panel | Literary café

CONTEMPORARY HOME

Luxury in Brera Design District | Smart design for smart living | Flexible interior space

- Mediateca
- Workhouse café
- Conference room
- Office
- Technical services
- Auditorium

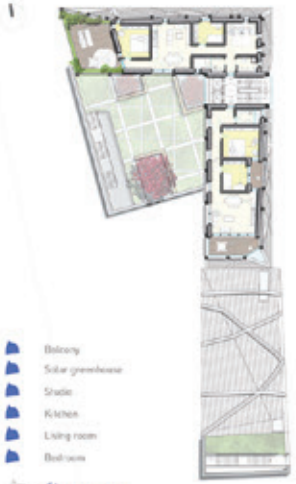
floor -2
(all scale)

- Mediateca
- Art showroom
- Auditorium

floor -1
(all scale)

- Court
- Digital info point
- Literary café
- Kid's library and kindergarten's services

ground floor
(all scale)

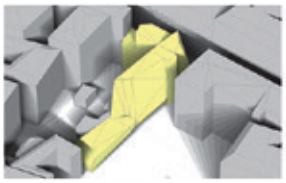


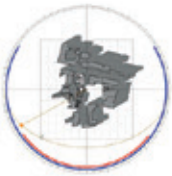
- Balcony
- Solar greenhouse
- Shade
- Kitchen
- Living room
- Bedroom

floor 3
(example of residence)
(all scale)

Bird's eye view

DAILY SHADOW - Spring and Autumn equinox

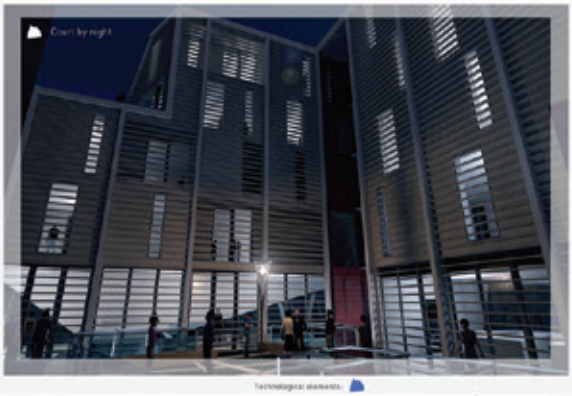




Front with best global irradiation.
Form the building to capture it.

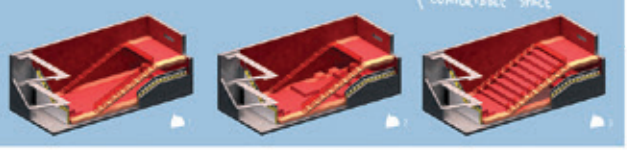
Surrounding start shading inside court since mid-afternoon.

North front | East front | South front | West front

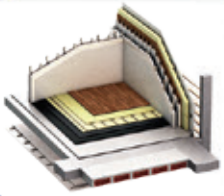


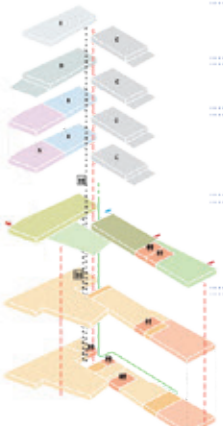
EXPO 2015

Me-Library



FLEXIBILITY





INTERNAL
distribution

SCHEMATIC DESIGN FOR
energy strategies

SVILUPPO ARCHITETTONICO

tecnologia | forma | energia

capitolo 02

2.1 INTRODUZIONE

Progettare in una città storica e stratificata come Milano necessita grandi riflessioni, approfondimenti e la necessità di confrontarsi con un panorama eterogeneo in cui coesistono un'anima classica e una moderna ma soprattutto con una vitalità contemporaneamente legata alle tradizioni e una assolutamente moderna e proiettata verso il futuro. I restauri delle grandi opere, la celebrazione dell'arte attraverso innumerevoli mostre ed eventi si mescolano a iniziative legate all'industria, alle televisioni e più in generale alle nuove tecnologie. Di questo aspetto ne è un esempio l'EXPO 2015.

Consapevoli del peso che la Storia ha (e deve avere) in Italia, attenti alle esigenze di un quartiere vivo e vissuto come il distretto di Brera e rispettosi delle esigenze energetiche e prestazionali fissate dalla UE, abbiamo sviluppato un edificio che racchiude ogni aspetto in un involucro dall'immagine decisa volta però ad esaltare il più possibile tutti gli elementi caratteristici del lotto in esame.

Lo sviluppo dell'idea progettuale è stato condotto confrontandoci con le esigenze e le preesistenze specifiche del luogo. Il centro storico, la cortina edilizia dell'isolato e la presenza degli edifici circostanti uniti ad un impianto vincolato dagli indici di edificabilità, ci hanno condotto ad impostare il lavoro tenendo conto di tutte queste variabili perseguendo il fine di un ottimizzazione del risultato finale. Il volume è stato studiato e modellato cercando di esaltare tutte le sue caratteristiche potenziali.

Il contesto e le sue relazioni, le funzioni insediate (pubbliche e private) e gli obiettivi energetici in linea con le direttive europee, sono così confluite in un impianto progettuale volto ad esaltarle tutte attraverso un'architettura contemporanea contestualizzata, funzionale e performante. Particolare attenzione è stata posta alla vivibilità degli spazi, alle relazioni tra di essi e agli aspetti climatici locali senza tralasciare l'immagine complessiva che dall'unione di questi avrebbe dovuto risultare.

La strada percorsa ci ha portato ad analizzare il contesto e ad individuare e far emergere i punti di forza da potere (e dovere) successivamente sviluppare.

L'edifico si configura come chiusura d'angolo di una presistente cortina edilizia. Il lotto interessato, distrutto in seguito ad un bombardamento subito durante la II° Guerra Mondiale, fino ad oggi è rimasto vuoto. Una sorta di "carie urbana" in un tessuto densamente popolato e ambìto per la mole dei servizi e la qualità della vita che ne consegue. Da qui la richiesta di insediarvi quattro piani di appartamenti privati oltre a dei servizi per la comunità e il quartiere.

Via Palermo, poco distante da piazza Moscova, è una strada su cui si affacciano edifici costruiti negli ultimi cento anni, molti dei quali nel Dopoguerra. L'edificio limitrofo con cui il lotto è a stretto contatto presenta un impianto neoclassico caratterizzato da un piano terra e un mezzanino oggi occupati da servizi e attività commerciali rivestito con bugnato in blocchi di pietra. Una forte schematizzazione caratterizza l'intera facciata e la posizione di tutti gli elementi architettonici. Ne sono stati dedotti alcuni allineamenti principali a cui riferirsi e legarsi ma soprattutto è sorto spontaneo un approfondimento sulla matericità e sulla forte presenza del rivestimento del piano terra.

La posizione d'angolo, in secondo luogo, concentra fortemente l'attenzione degli utenti esterni verso questa parte dell'edificio: un ottimo punto in cui focalizzare un "tratto architettonico" distintivo e immediatamente riconoscibile. Contemporaneamente i locali interni in questa posizione sono favoriti da un doppio affaccio che tradotto in termini economici consente una maggiore vendibilità e quindi una maggiore resa economica. Ecco come nasce l'idea di collocare una sorta di "torre" che concentri su di se l'attenzione per offrire sia una maggiore visibilità ai servizi al piano terra sia una vista sempre più affascinante su via Palermo e sullo skyline di Milano alle camere all'interno nei piani superiori.

Due tagli caratterizzano questo elemento: una grande vetrina al livello della strada e un punto d'osservazione sempre più ampio e crescente mano a mano che si prende quota.

2.2 CONTESTO

La zona in cui si inserisce il progetto si chiama così poiché ricalca il nome di via Brera. Il nome Brera deriva da *braida*: terreno incolto, ortaglia. Da questa parola deriva anche *braidense*, associato all'omonima biblioteca. Gli artisti che fin dal XIX secolo gravitavano attorno all'Accademia di Belle Arti hanno trasformato il quartiere in uno dei più caratteristici di Milano.

Brera è un quartiere storico di Milano che da secoli fornisce un fondamentale contributo alla vita culturale della città. É un luogo ricco di fascino e di cultura, un mondo abituato a precorrere le tendenze, dove arte, moda, design si intrecciano. Un luogo variegato, accogliente, caldo, percorso da grande fermento creativo ed artistico, dove la cultura si mescola allo shopping e al divertimento.

2.2.1 BRERA DESIGN DISTRICT

Brera Design District è una operazione di marketing territoriale che attraverso un sistema di comunicazione dedicato alla promozione delle eccellenze e dei punti di forza attivi sul territorio intende arricchire la proposta culturale e l'appeal del distretto in grado di unire tradizione e innovazione nel campo diffuso del design.

In questo solco si inseriscono tutte le scelte progettuali adottate: dalla destinazione d'uso alle scelte dei materiali fino alla definizione di tutti i dettagli. Il BDD ha per obiettivo quello di comunicare Brera come punto di riferimento per il design milanese, territorio con la più alta densità di showroom, gallerie, location, spazi dedicati al design e al contemporaneo in termini di arte e cultura.

Il Cigno intende così allinearsi a questo fine culturale e di sviluppo offrendo un servizio diversificato a seconda d elle utenze.

2.2.2 LOTTO, VIA PALERMO ED ELEMENTI SIGNIFICATIVI

Il lotto di progetto si presenta attualmente come un vuoto urbano che si articola in una pianta ad L su un'area con accessibilità mista pubblica e privata. Non tutta la superficie è edificabile e le altezze e i vincoli urbanistici presenti impediscono apparentemente molte trasformazioni volumetriche. Si nota subito come la realtà sia quella di un edificio posto in un'area densamente abitata e costruita con la quale abbiamo dovuto confrontarci.

Una netta diffrenza tra il mantenimento della cortina edilizia lungo la via principale a nord e una differenza di volumetria edificabile lungo la strada secondaria che si apre

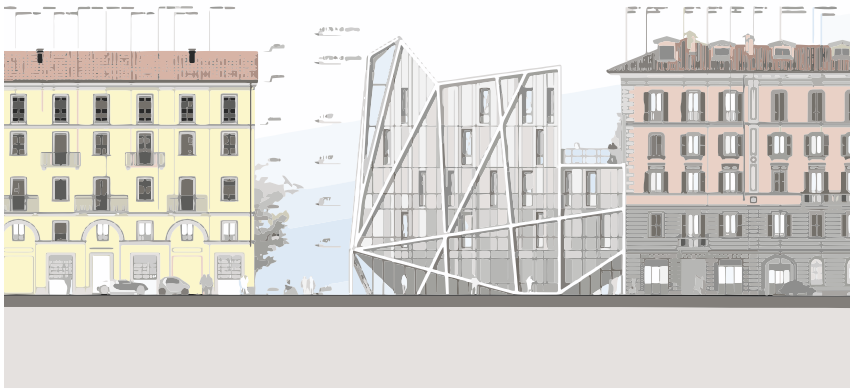
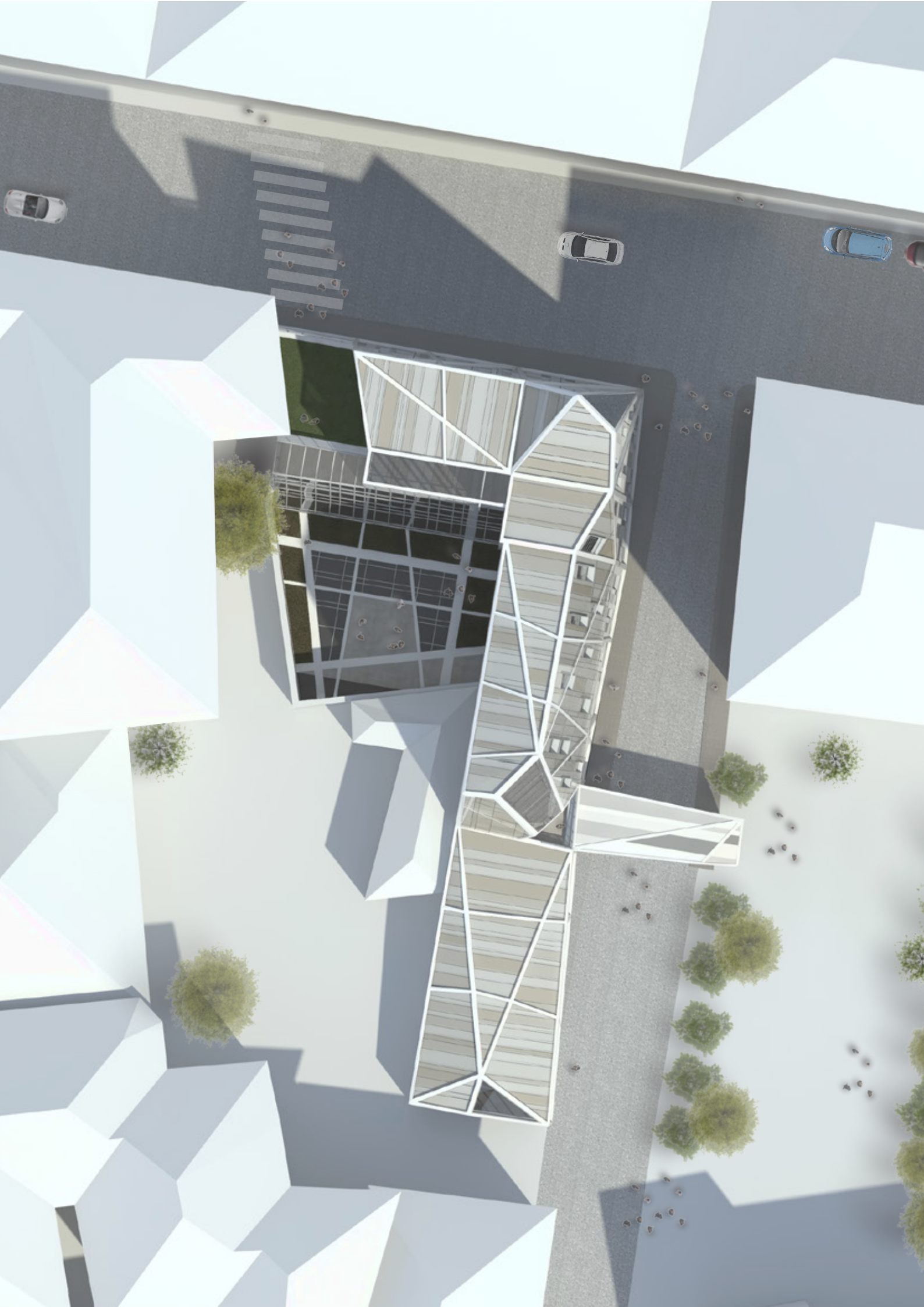


fig. 2.173 - *Fronte strada via Palermo, MI*



su un piccolo giardino pubblico a ridosso dell'asilo, hanno determinato diverse scelte architettoniche e formali. Le diverse esposizioni e viste non potevano che essere trattate con particolare attentzione di volta in volta. La via e il quatiere sono costellati da istituzioni sia pubbliche che private. Showroom (la Pelota), l'asilo infantile, la chiesa di San Simpliciano ne sono solo alcuni esempi della notevole eterogeneità .

Dovendo inserire delle residenze, abbiamo analizzato la tipologia esistente e storicamente consolidata per questa destinazione d'uso. Abbiamo così scoperto l'importanza della tipologia della cortina edilizia ad angolo e la presenza sistematica di piccole corti e cortili privati celati agli sguardi indiscreti, che però offrono uno spazio di sosta e distribuzione con un clima totalmente diverso da quello più caotico presente sulle strade pubbliche. La casa a ringhiera con accessibilità a ballatoio per ogni piano è un'altra costante della zona.

Inoltre, vegetazione, alberi, fiori e piccole logge arredate con altre varietà di piante sono un *leitmotiv* costante di tutto il centro storico della città di Milano.

Attici sulle sommità degli edifici come ville sospese, sono un tentativo consolidato e di successo che offre una variazlone della tipologia di residenze più diffusa.

Il contesto è caratterizato da varie soluzioni di riverstimenti e materiali tra i quali la pietra, presente in lastre o blocchi, e l'intonaco con colori tenui e occasionalmente abbastanza vivaci.

fig. 2.174 - *Inquadramento planivolumetrico*

2.2.3 ACCESSIBILITÀ ALL'AREA

L'accessibilità all'area di progetto non presenta grossi ostacoli per i mezzi. Dall'anello formato dalle tangenziali nord, est e ovest è facilmente possibile penetrare all'interno della città e raggiungere via Palermo (vedi tavola accessibilità). L'area è facilmente raggiungibile sia coi mezzi pubblici (metro: fermata Moscova, 5 minuti a piedi; tram e bus: fermata a 5 minuti a piedi) sia coi mezzi pesanti per il trasporto di materiale edile.

L'area si presenta congestionata dalle auto e dal suo continuo aumento. Più in generale, abbiamo notato come il Comune di Milano intenda andare contro questa tendenza incentivando maggiormente il servizio pubblico di trasporti: treno, metropolitana, tram e bus. L'idea è quella di portare i cittadini ad utilizzare sempre meno le automobili fino a ritenerle un giorno inutili o quasi per chi vive nella metropoli. Una prova tangibile di uesta volontà, è il tentativo di creare la Zona C nel centro storico, accessibilile solo per chi ne ha davvero bisogno.

Progettando un edificio in cui risiede una funziona pubblica e di pertinenza del Comune, abbiamo deciso di seguire ed allinearci a questa tendenza. L'obiettivo è quello di togliere le auto dalle strade a dai parcheggi per poter estendere al massimo le aree pedonabili. Si delega così alla progettazione urbanistica generale per il territorio, il compito di trovare spazi ed organizzare gli eventuali servizi di *car sharing*. I cittadini residenti in centro città potrebbero evitare di acquistare le auto e ,qualora fosse necessario, noleggiarle occasionalmente. Abbiamo effetuato dei brevi calcoli per quantificare la spesa per un'auto (acquisto, assicurazione, carburante, manutenzione, noleggio garage...) e abbiamo scoperto che spesso è fortemente diseconomica questa scelta se si vive in centro città e si usa il proprio mezzo per dei viaggi sporadici.

2.3 RILIEVO

Progettare lungo una via storica come via Palermo necessita grandi riflessioni, studi e approfondimenti sul contesto circostante. Questo progetto è infatti iniziato dal rilievo degli edifici limitrofi in dettaglio e dalla ricerca di altri elementi significati in un breve raggio d'azione che potesse però influire sull'area attorno al lotto di progetto o essere fonte d'ispirazione.

I rilievi effettuati, per poter avere una buona visione d'insieme delle tipicità del luogo, sono di carattere: *fotografico, metrico e architettonico*, *materico*, *cromatico*.

Si scoprono così edifici sorti in diverse epoche, ognuno dei quali caratterizzato da propri tratti distintivi tipici del gusto del tempo. Questi vanno dall'inizio del XX° secolo e quindi con tendenze neoclassiche o del Liberty milanese fino agli anni '60 con facciate organizzate secondo composizioni geometriche. Grandi differenze si notano nei livelli di cura e dettaglio delle facciate a seconda se queste si affaccino o meno sulla via principale. Alcuni allineamenti sono stati ripresi sulla facciata principale, come le finestre, alcuni marcapiani, l'altezza del piano terra fissa, la linea di colmo, la porzione di bugnato, etc .. e reinterpretati.

2.3.1 RILIEVO FOTOGRAFICO

La fotografia riveste una notevole importanza nella documentazione architettonica e costituisce uno strumento insostituibile nel rilevamento architettonico vuoi come documentazione di completamento ai grafici di rilievo, vuoi come strumento ausiliario nelle operazioni di rilievo.

Il potere evocativo della fotografia si fonda sulla capacità della nostra memoria di immagazzinare le immagini in maniera più efficace e stabile che i prodotti di altre percezioni. Gli obiettivi si suddividono generalmente in grandangolari, normali e teleobiettivi. Questa classificazione dipende dalla lunghezza focale dell'ottica, che viene solitamente espressa in millimetri. Essa determina il campo di ripresa, l'ingrandimento e la profondità di campo dell'ottica. Nel formato 35 mm le lunghezze focali comprese tra i 20 e i 35 mm sono considerate grandangolari. Producono una maggiore profondità di campo e un maggiore angolo di ripresa, ma rimpiccioliscono i soggetti. Un supergrandangolo, o fisheye, consente un angolo di ripresa di 180° o più ampio. Gli obiettivi con lunghezza focale compresa tra i 45 e i 55 mm sono detti normali, perché sono quelli che più si avvicinano all'occhio umano per la prospettiva e le proporzioni degli oggetti osservati. Gli obiettivi con focale più lunga, oltre gli 85 mm, sono chiamati teleobiettivi: schiacciano la prospettiva e diminuiscono la profondità di campo, ingrandendo molto il soggetto.

Gli zoom, altro tipo di obiettivi, sono strutturati in modo da consentire di variare la lunghezza focale impiegando un'unica ottica. Sono particolarmente utili con le reflex, in quanto permettono un controllo agile e continuo nella composizione dell'immagine. La percezione di un oggetto architettonico è frutto di una vasta esperienza che include, oltre all'osservazione visiva, anche sensazioni tattili, misurazioni compiute nel muoversi in relazioni all'oggetto, elaborazioni concettuali e storiche.

2.3.2 RILIEVO METRICO E ARCHITETTONICO

il rilievo architettonico è un campo d'applicazione della geometria descrittiva, è l'insieme delle pratiche e dei metodi che consentono di riportare le caratteristiche fondamentali di un oggetto edilizio o urbano in un sistema di rappresentazioni (principalmente bidimensionali). I grafici ottenuti sono la base per le operazioni di documentazione, studio, conservazione dell'edificio e per l'intervento su di esso.

2.3.3 RILIEVO MATERICO

Lettura critica della stratigrafia degli elevati, riconoscimento della complessita' della realta' materica e restituzione veristica e rafforzativa delle conclusioni delle osservazioni in sito.

"(...) Per comprendere e apprezzare un'opera di architettura è assolutamente necessario possedere una conoscenza diretta ed esatta dei materiali di cui è fatta, del loro peso, della loro rigidezza, della loro coesione (…) " *A. Shopenauer*

Il materiale è parte della forma architettonica, è il ponte tra la struttura statica e l'immagine che un oggetto architettonico restituisce. Parlarere di materiali quando si parla di architettura significa parlare della consistenza, della forma, della costruzione dell'architettura. I materiali infatti sono strettamente legati al sistema costruttivo e dunque alla struttura dell'architettura, ne costituiscono la forma e ne connotano l'aspetto più immediatamente visibile, la superficie. L'architettura dunque trova espressione concreta nei materiali di cui è composta. Il rilievo di un'architettura non può dunque limitarsi al semplice dato dimensionale ma deve documentare la consistenza dell'architettura, documentando dunque i materiali di cui si compone e le relative tecniche costruttive. I materiali utilizzati detengono infatti nella morfologia della architettura un ruolo significativo in quanto concorrono alla struttura della forma il gioco dei colori, delle grane, del disegno del paramento murario, degli stucchi, degli intonaci, dei legni, dei metalli, dei vetri, delle ceramiche e dei diversi materiali che vengono impiegati in architettura.

2.3.4 RILIEVO CROMATICO

Anche lo studio dei cromatismi è stato effettuato, finalizzato ad ottenere una palette di colori idonea per le future scelte progettuali e architettoniche che di seguito nel capito verranno esaustivamente spiegate.

Mentre nel rilevamento metrico è possibile ottenere risultati metricamente determinati, con scarti di errore valutabili in relazioni agli obiettivi ed alle strumentazioni impiegate, non si può dire lo stesso per il rilievo del colore. Nel primo caso, infatti, rileviamo lo spazio fisico, nel secondo rileviamo una sensazione visiva in quanto il colore è la risposta percettiva del nostro sistema oculare allo stimolo della luce, quando questa ultima viene in parte rifranta da un determinato oggetto. Inoltre, poiché il nostro sistema ottico riconosce gli impulsi luminosi ricevuti sotto forma di onde elettromagnetiche e li trasmette al nostro cervello trasformati dal nervo ottico in impulsi elettrici, è il cervello che vede i colori e non gli occhi. E quindi è la luce a permettere e a condizionare la capacità di vedere i colori. Inoltre nella visione delle cose entrano in gioco molteplici fattori propri del contesto a cui esse appartengono.

Abbiamo definito una palette di colori tratta dal contesto circostante utilizzata per ogni componente di facciata la quale ci ha permesso di inserire il progetto in maniera più pertinenente ed idonea al luogo.

fig. 2.175 - *Prospetto sud*

2.3.5 RIFERIMENTI E ISTITUZIONI

La vicinanza di molte istituzioni anche storiche ci ha condotti lungo un percorso di conoscenza deila mole di servizi offerti e in continua evoluzione presenti all'interno del distretto. Questa spazia dalle associazioni culturali a quelle per un genuino svago. L'Accademia di Belle Arti, l'Orto Botanico e Museo Astronomico, la Pinacoteca, la Basilica di San Simpliciano, l'Arena Civica, la Mediateca di Santa Teresa e il Teatro Piccolo. E queste sono solo le più note a cui vanno sicuramente annoverati i numeri locali notturni. L'idea di legarsi ad esse e contribuire ad aumentare l'offerta per il pubblico del quartiere e non solo , hanno determinato le scelte delle destinazioni d'uso.

Molti elementi sono stati successivamente approfonditi e da ognuno di essi abbiamo cercato di prendere esempio e spunti creativi. Questo è il caso dei giardini, dell'orto botanico e della serra dell'Accademia, con la sua facciata vetrata inclinata e la sua sottile struttura lignea a vista. La biblioteca del parco Sempione con la sua copertura frastagliata in cemento armato. I progetti milanesi e non dello studio Park coi loro rivestimenti in pannelli d'alluminio e le loro forme evocative. L'edificio misto residenziale e uffici a Milano di Luigi Moretti, più noto come 'la balena bianca', per l'idea del corpo a sbalzo, per il diverso trattamento delle facccciate interne vetrate ed esterne con superfici piegate. I progetti per le bilbioteche di AlterStudio, per la complessità metaprogettuale e le forme architettoniche fortemente contemporanee.

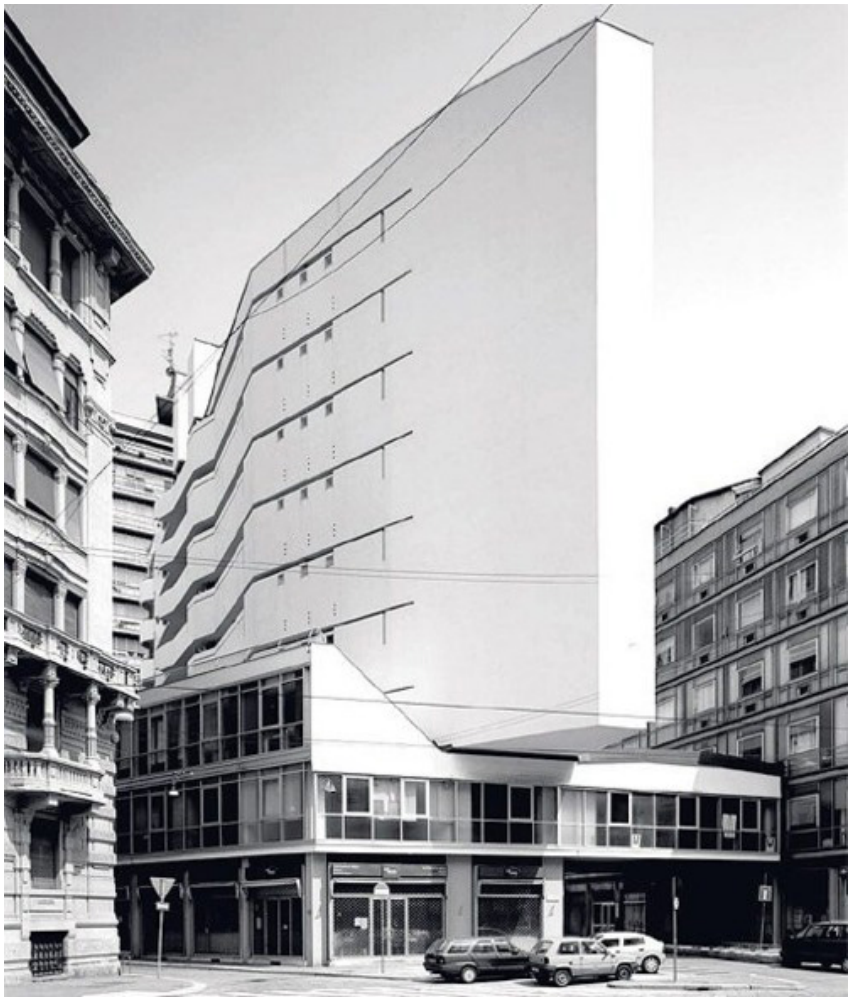


fig. 2.176 - *Complesso edilizio in Corso Italia., Milano, di Luigi Moretti, 1951-53*

fig. 2.177 - *La Serenissima Office Building, recupero del progetto originale dei fratelli Soncini (1962) di Park Associati*

fig. 2.178 - *Salewa SPA Headquarter, Bolzano 2011, di Park Associati*

fig. 2.179 - *Biblioteca del parco Sempione, progettato da Ico Parisi per la X Triennale di Milano*

fig. 2.180 - *Biblioteca centrale di Monza, progetto di concorso, di AlterStudio Partners*

fig. 2.181 - *La nuova chiesa a Sesto San Giovanni (MI), di Cino Zucchi*

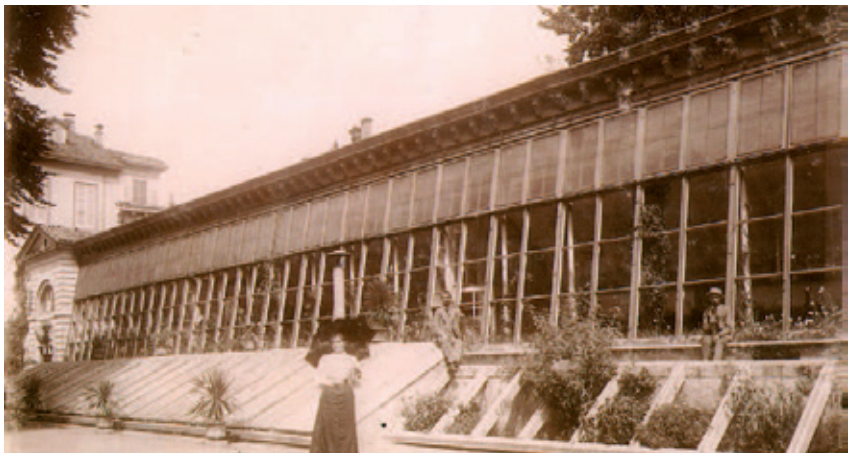


fig. 2.182 - *Serra dell'orto botanico di Brera, foto d'epoca*

2.4 CONCEPT ARCHITETTONICO

I risultati estetico-formali del Cigno nascono dalla decisione di allocare all'interno degli spazi da destinare a 'servizi per la società' una mediateca pubblica.

Questa scelta progettuale è stata attentamente valutata tra diverse ipotesi, molte delle quali sviluppate dagli altri gruppi che hanno partecipato al concorso (ad esempio spazi per la moda o scuole di cucina, etc.).

A seguito di una lezione tenuta durante il laboratorio di *sintesi finale* dal prof. Muscogiuri riguardo i concetti della biblioteca di nuova generazione, siamo rimasti molto affascinati da questa tipologia di edificio tanto da voler affrontare in maniera più approfondita la progettazione di una biblioteca durante il nostro percorso formativo di tesi.

Essendo studenti pendolari molto distanti dalla facoltà, abbiamo avuto l'occasione di frequentare spesso l'ambiente bibliotecario comunale. Durante questi anni siamo stati parte dell'evoluzione delle forme e dei contenuti che hanno portato all'attuale concezione di biblioteca sempre meno spinta verso l'archiviazione di libri e proiettata verso l'idea di '*piazza sociale*'.

I primi anni di studi, le biblioteche comunali di Paderno Dugnano e Colnago erano organizzate secondo standard bibliotecari che vedevano questo luogo come un archivio chiuso in se stesso, quasi a nascondersi tra gli edifici per il servizio pubblico e praticamente privi di relazioni con la società.

Recentemente molti comuni della provincia di Milano hanno deciso di investire nella costruzione di nuovi spazi dedicati ad attività pubbliche volte a garantire un'interazione tra gli utenti, tanto quando l'organizzazione di attività di formazione e integrazione sociale.

La scarsa interazione tra i cittadini che permane all'interno delle grandi città così come nei comuni di periferia è un chiaro sintomo di malessere pubblico volto a scindere la società in un'insieme di *individui* più che a creare la tanto ricercata *collettività*. Con l'obiettivo di aumentare le interazioni umane (sia giovanili che delle generazioni precedenti), l'inserimento di nuove culture all'interno del nostro Paese ed il semplice accesso all'informazione, nasce il concetto di *condensatore socio-culturale*, ovvero la Mediateca.

Questi temi vissuti in prima persona hanno suscitato un notevole interesse da parte nostra e ci hanno spinto ad individuare e a proporre una concezione di biblioteca completamente rinnovata che all'inizio del concorso era pura fantasia, mentre ad oggi (solamente a distanza di 1 anno dal termine del Compasso Volante) vede una discussione accesa internazionale riguardo a questi '*prototipi*' di biblioteca digitale (la prima al mondo realizzata in Texas - BiblioTech). Rimando la discussione inerente alle specifiche progettuali della biblioteca al capitolo relativo.

L'inserimento di un edificio pubblico innovativo all'interno di un contesto urbano storico, ci ha spinto ad immaginare un'architettura fortemente riconoscibile e di contrasto rispetto agli edifici esistenti di via Palermo al fine di rendere Me-Library un polo attrattivo ed, al contempo, di lasciar trasparire attraverso le sue forme ed i materiali i contenuti innovativi che ospita.

L'architettura del Cigno, inoltre, vuole avvicinarsi ai nuovi edifici in via di costruzione previsti dal programma EXPO' 2015 volti ad accostare un nuovo linguaggio alla storica architettura Milanese.

La genesi della forma nasce da concetti innovativi riguardo all'inserimento di un edificio in un luogo *costruito*. Il vuoto urbano di via Palermo permane da anni ed è diventato parte della città di Milano, tanto quando gli edifici adiacenti. Chiunque abiti a Milano e sia interessato alla città riconosce l'assenza di un edificio. Citando l'architetto Alvaro Siza, *l'architettura nasce da una mancanza di equilibrio* ed è con un equilibrio intrinseco del progetto che l'arte dell'architettura può manifestarsi e diventare parte integrante di un tessuto già esistente.

L'edificio non vuole simulare i linguaggi architettonici delle Archistar, bensì nasce

fig. 2.183 - *Cité Internationale de Lyon, di Renzo Piano Building Workshop*

dalle disponibilità volumetriche del lotto che si modellano in base alle necessità ed esigenze di comfort e risparmio energetico. Nonostante le forme ed i materiali molto diversi dall'edificato attuale di via Palermo rispetto al contesto, *Il Cigno* vuole coesistere riprendendo i forti allineamenti dettati dai marcapiano della cortina edilizia da cui si genera e si compone dei colori di via Palermo, rielaborati in '*tint and shades*' secondo i principi della teoria del colore.

Questo approccio non è banale, troppo spesso vengono trascurati i concetti e le tecniche riconosciuti dal mondo del design (e non dell'architettura) secondo i quali è possibile ottenere un risultato migliore di coesione architettonica applicando dei concetti basilari di prospettiva, composizione e teoria del colore.

Si pensi ad una semplice composizione bidimensionale di colori e testi, nel momento in cui si vuole inserire un ulteriore elemento alla composizione vi sono molte possibilità, tra cui la più usata è la campionatura di uno dei colori della composizione (solitamente il *key color*) insieme all'utilizzo dei soli allineamenti prevalenti. Questo approccio non valuta le molteplici alternative basate sull'analisi del 'gusto': i metodi di lettura dell'occhio umano, i colori, combinazione e contrasti apprezzati, le proporzioni legate alla prospettiva ed le tendenze contemporanee dettate dai media ed apprezzate e ricercate inconsciamente.

La nostra scelta artistica è di molto diversa dai concetti adottati dalla maggior parte dei progettisti ed è, infatti, frutto di studi di prospettiva e compositing in cui sono state interpretate le '*leggi della composizione*' scomponendo l'esistente in colori e ritmi ricomposti con armonia in un nuovo edificio che, a suo modo, risulta coeso al contesto.

Molte considerazioni riguardo l'impatto sull'esistente, la luce, l'energia ed il comfort sono state considerate durante il processo di *compositing*.

Dall'analisi di tutto quello precedentemente detto, nasce un progetto ricco di piccoli rimandi, dialoghi e critiche al contesto che ci auguriamo possano essere un arricchimento di quello che sarebbe invece stato se realizzato con un approccio più semplice e meno dettagliato.

Ogni faccciata di questo sistema di involucro si comporta, pur mantenendo un unico filo conduttore con esso, autonomamente in relazione al suo punto di vista sul contesto.

Di seguito sono riportate le considerazioni che hanno guidato il design dell'edificio.

2.4.1 ACCESSI

L'edificio ha una conformazione in pianta ad L, con il lato corto rivolto verso via Palermo. La scelta delle destinazione d'uso ha portato a disporre l'ingresso di Me-Library lungo via Palermo, rivolto verso la città. L'igresso principale si presenta come un'erosione naturale lungo la via, discreto e perciò riservato. Allo scopo di rendere visibile dall'esterno lo spazio destinato ad Info-Point per la città, caffetteria e biblioteca per i piccoli, il piano terra è stato pensato trasparente a scapito del fabbisogno energetico per il riscaldamento. Tutto l'attacco a terra si configura come una grande vetrina permeabile alla vista che si offre agli sguardi della città per incuriosirli ed attrarli.

Per evitarne il surriscaldamento estivo esso è stato declinato verso l'interno del volume in modo da schermarsi dalla radiazione solare. Questa scelta è stata adottata per il piano terra della mediateca allo scopo ridurre il fabbisogno di energia primaria per raffrescamento.

L'accesso alle residenze è stato localizzato a fianco al vano scale, baricentrico rispetto la disponibilità volumetrica del lotto e disposto lungo la traversa secondaria di via Palermo, garantendo un giusto grado di privacy ai residenti. L'ingresso alla caffetteria ed alla biblioteca per i piccoli è stata disposta a fianco dell'accesso all'asilo agevolando il servizio per i genitori dei bambini dell'asilo. Il limite della proprietà privata è stato progettato con una pensilina per offrire uno spazio di sosta alle mamme e ai bambini che protegge dalle intemperie e ripara dal sole. Questo elemento collega come un ponte l'accesso alle funzioni interne e il giardino pubblico antistante l'edificio ad est.

2.4.2 FORMA

L'inserimento di un edificio alto circa 18 metri all'interno di un lotto da tempo non edificato ed accostato ad una strada di soli 12 metri, ha portato a volere inclinare il fronte Nord in modo da aumentare il fattore di visibilità della volta celeste dei passanti, smorzando in qualche modo l'impatto dell'edificio su via Palermo.

Oltre ad essere inclinato lungo l'asse trasversale del blocco Nord, è stata introdotta una componente di inclinazione azimutale, in questo modo le finestre godono di una vista lunga verso via Palermo. Inoltre, analizzando il comportamento a riflessione del vetro (diminuendo l'angolo di visione con la superficie vetrata, aumenta il grado di riflessione fino a raggiungere il 100%), essendo inclinate è stata ridotta la trasparenza degli appartamenti da parte dell'edificio sul fronte opposto.

Il fronte Est, privo di ostacoli a Sud, è stato piegato progressivamente verso l'alto aumentando il fattore di vista verso la volta celeste delle superfici e quindi la radiazione incidente, consentendo di sfruttare una porzione di facciata per l'installazione dell'impianto fotovoltaico. Adottando questa soluzione, la superficie utile per appartamento è stata ridotta ed i metri quadri di differenza sono riportati all'interno della serra botanica disposta sul fronte interno Sud. Un'altra serra è stata inserita verso Sud, con

fig. 2.184 - *Edificio residenziale con rivestimento in pannellatura d'alluminio scuro, di Alucobond*

la funzione di limitare le dispersioni durante l'inverno del blocco sud-est ed ombreggiare le camere durante l'estate garantendo un'opportuna ventilazione.

2.4.3 SERRA BOTANICA

La scelta di quest'elemento architettonico è stata dettata dalla volontà di creare un edificio con una tendenza ad essere autosufficiente, consentendo agli utenti di coltivare degli alimenti anche a Milano, accostandosi ai programmi dell'EXPO' 2015. Questa scelta tipologica è inoltre legata al concetto di ambiente buffer tra gli ambienti interno ed esterno in grado di limitare le dispersioni oltre che aggiungere valore all'immobile grazie all'aumento di superficie abitabile.

Le strategie tecnologiche adottate hanno voluto legarsi all'orto storico botanico di Brera in merito al quale abbiamo redatto la relativa analisi. Principalmente questa si componeva di una struttura montanti-traversi in legno con vetro singolo con diverse inclinazioni. Lo stesso archetipo è stato adottato per la serra del Cigno sostituendo il legno con l'alluminio per garantirne la riciclabilità e per legarsi alle tradizionali facciate milanesi degli anni '60 e il vetro singolo con vetri stratificati che garantiscano la sicurezza degli utilizzatori.

La serra si presenta così come una successione di lamelle di vetro completamente apribili a seconda delal stagione.

2.4.4 CORTE

La corte centrale dell'edificio è stata attrezzata ed arredata rispettando il sistema di corti verdi Milanese. Adottando questa soluzione è stato possibile, oltre che mantenere una tradizione, anche ridurre i rumori dall'esterno verso l'interno dello spazio lettura delle mediateca, mitigare l'irraggiamento del solaio della piazza coperta e garantire un corretto ombreggiamento estivo delle porzioni di involucro orizzontali vetrate.

2.4.5 L'ANGOLO

Milano è ricca di interpretazioni di questo tema molto ricorrente in architettura, specie in architetture inserite in cortine urbane. Per garantire un grado di trasparenza molto elevato del piano terra abbiamo deciso di sopraelevare l'angolo, creando un centro di interesse per la composizione.

Questa scelta non è solo formale, in quanto è legata alle leggi della composizione in arte e fotografia che reputiamo debbano essere parte integrante di un progetto architettonico.

Il '*centro d'interesse*' è un'espressione comune in ogni arte compositiva. Quando l'occhio umano percepisce un'immagine vi sono sempre degli elementi a cui dedica maggior attenzione rispetto ad altri, anche quando si osserva un edificio. In realtà siamo abituati a guardarlo un pezzo alla volta perché pur essendo visibile tutto insieme, l'occhio sarà attirato da sotto-porzioni di esso (composte da più elementi). Per questo motivo le inquadrature di ambientazioni architettoniche esterne ed interne dovrebbero sempre avere un elemento di spicco all'interno dei propri soggetti, o perlomeno di maggior rilievo: grazie ad esse l'immagine acquisirà più naturalezza e diventerà più interessante. L'occhio si stanca facilmente e viene distratto se nell'immagine compaiono troppi elementi, soprattutto in modo disordinato.

Ad accentuare questo concetto è stato effettuato un taglio dell'angolo Nord-Est che ha creato una vetrata rivolta verso via Palermo creando una torre d'angolo.

Questa torre risulta più alta rispetto al resto dell'edificio, ma comunque entro i limiti

edificabili, ed accoglie il soppalco dell'appartamento Nord del quarto piano che gode della vista migliore. Il resto dell'edificio ha una quota inferiore permettendo di diminuire il volume d'aria da riscaldare, riducendo il fabbisogno energetico.

Mantenendo lo stesso tema, è stato creando un secondo punto di interesse per l'inquadratura percepita dall'asilo. Ovvero è stato creato un taglio della porzione di serra in direzione perpendicolare all'asse visivo della chiesa di San Simpliciano.

2.4.6 STRUTTURA

La maglia strutturale del Cigno è stata una delle sfide che abbiamo voluto affrontare durante il percorso di tesi. Gestire una struttura di questa complessità ha comportato un notevole sforzo da parte nostra. L'inclinazione dei pilastri verso Nord ed Est, insieme alle travi inclinate inserite lungo i cambi di pendenza della facciata, costituiscono un insieme di quadrilateri articolati che consentono all'intera facciata di sopportare i carichi orizzontali dovuti dal vento e/o al sisma ed, allo stesso tempo, di collaborare al supporto dell'angolo a sbalzo.

Il movimento della struttura non è celato nell'involucro come di consueto nelle *case passive*, ma è mostrato a Brera come tributo all'*industrial design* Milanese conosciuto nel mondo grazie a questo quartiere.

All'interno della corte, si è preferito adottare una morfologia della struttura più semplice, per allentare le tensioni compositive delle facciate esterne e garantire una tranquillità visiva degli appartamenti che si affacciano l'uno sull'altro.

2.4.7 SMART CITY

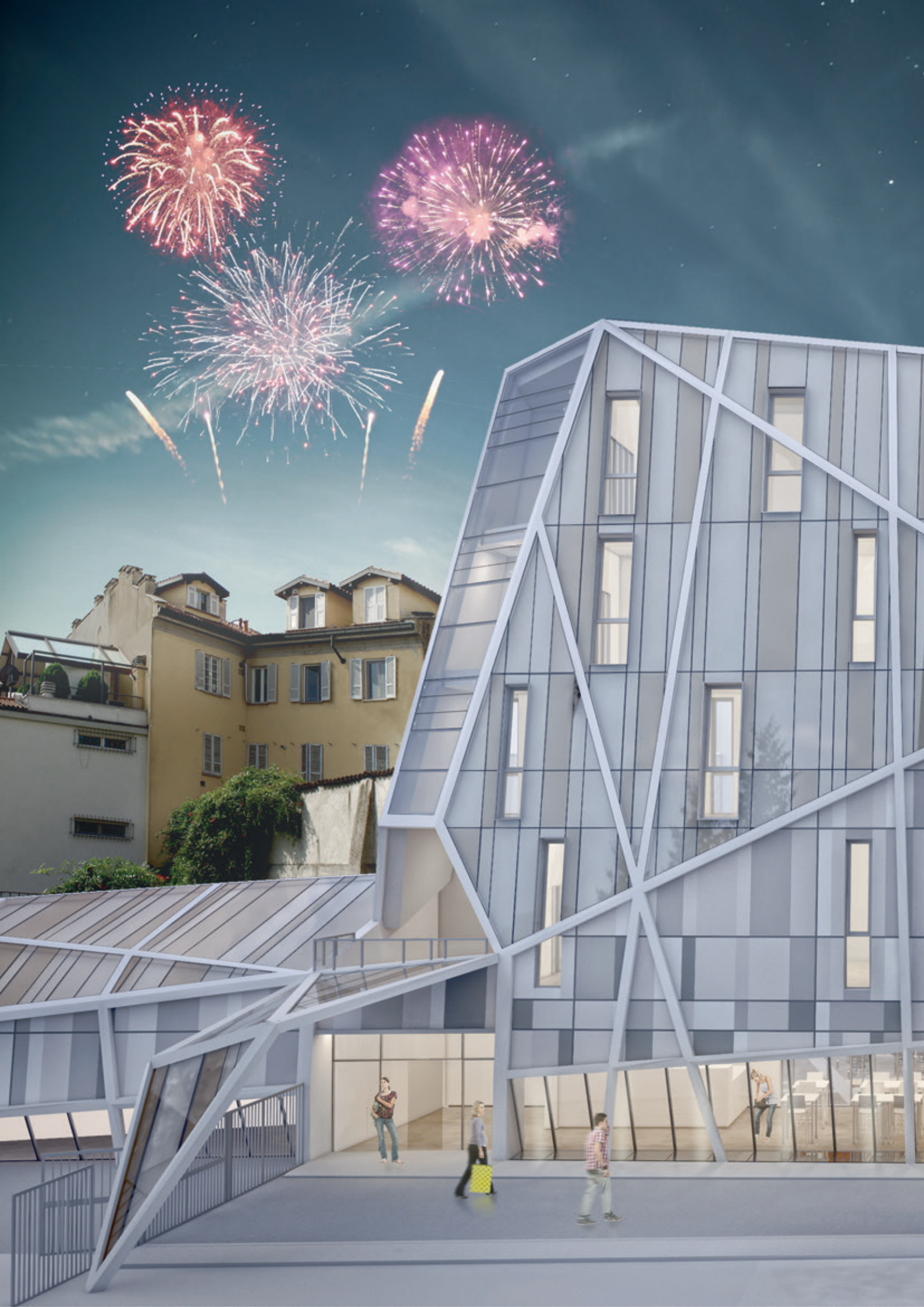
Le città sono diventate il punto focale delle politiche e delle strategie economiche del nuovo millennio e l'urbanizzazione sostenibile e intelligente – o Digital Smart City – è condizione necessaria per l'attuazione di questa visione.

Il punto di partenza per lo sviluppo di una Digital Smart City dipende strettamente dai benefici che questa può portare in termini di miglioramento della qualità della vita e gli obiettivi dell'urbanizzazione sostenibile sono la somma della sostenibilità ambientale e sociale con lo sviluppo economico.

La Digital Smart City Expo 2015 deve quindi essere sostenibile, confortevole, attrattiva, sicura, informativa, efficiente, in una sola parola "intelligente" ma, soprattutto, i servizi tecnologici proposti richiedono di essere integrati con un'adeguata rete di telecomunicazione fissa e mobile per garantire uno sviluppo urbano equilibrato e al passo con la domanda di sviluppo e benessere per la comunità nazionale ed internazionale.

Con la'vvento dell'EXPO, Milano si appresta a cambiare il proprio volto, anche grazie a questa nova volontà di digitalizzazione del territorio per offrire migliori servizi e diffondere la conoscenza verso un pubblico sempre più vasto.

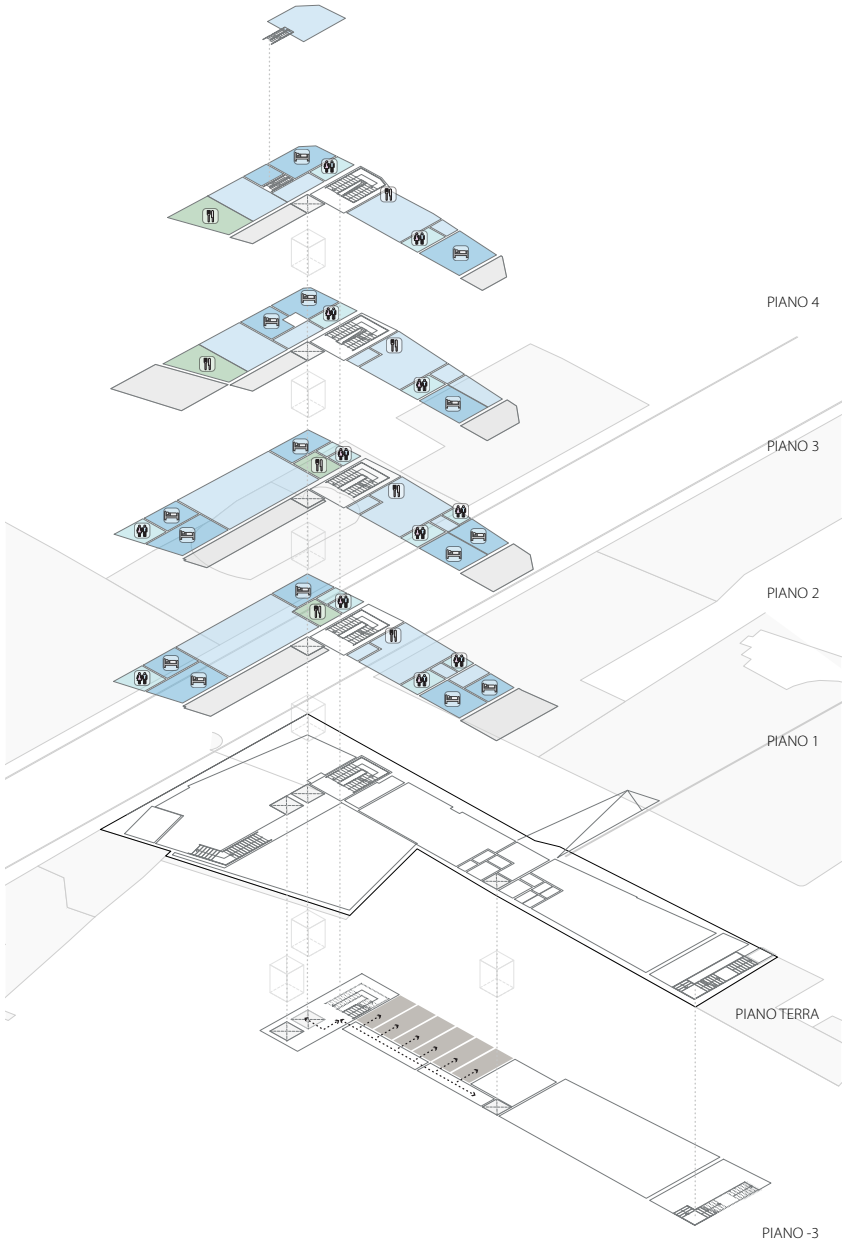
fig. 2.185 - *Fotoinserimento lungo via Palermo*



2.5 LE RESIDENZE

Le residenze occupano quattro dei cinque piani fuori terra. Considerando l'area circostante abbiamo progettato appartamenti di differenti metrature per poter offrire una gamma più ampia di scelta. Sono stati studiati otto alloggi, due per piano, tutti raggiungibili dall'unico vano scale collocato in posizione baricentrica rispetto alla pianta del lotto. Questo accesso è riservato e separato dagli altri per preservare il più possibile la privacy dei residenti. Un ascensore attrezzato anche per i disabili permette di poter catalogare tutti gli appartamenti come accessibili. In questo caso la distribuzione interna successivamente proposta dovrà essere lievemente modificata. Ciò è reso possibile dalla progettazione di un involucro seprato e continuo all'esterno e privo di partizioni interne fisse. Gli unici punti da considerarsi fissi sono i punti di alloggio e passaggio degli impianti. Tutti gli impianti di risalita sfruttano tendenzialmente la presenza del vano scale come punto baricentrico di distribuzione. I sanitari invece hanno uno o due allacci in più

fig. 2.186 - *Esploso distributivo delle residenze*



all'interno degli appartamenti per poter garantire un eventuale e più libera successiva trasformazione. In definitiva, a seconda delle esigenze, tutte le residenze possono facilmente essere modficate. Gli appartamenti hanno due prevalenti direzioni: a nord del vano scale con affacci nord-sud e a sud del vano scale con affacci est-ovest.

A seconda della disponibilità in pianta abbiamo così ottenuto una buona eterogeneità di metrature quadrate. Sono stati progettati:

- due quadrilocali ampi da 120 m^2 cad: presentano un impianto con un grande oper space centrale utilizzato anche come spazio di distribuzione al fine di evitare inutil corridoi. Due zone notte si sviluppano ai lati di questo grande ambiente, una in particolare con doppio affaccio sull'angolo. A nord la vista lungo via Palermo è sfaccettata grazie ai tagli e alle inclinazioni della facciata che offrono così migliori angoli visuali oltre ad un maggiore apporto di luce naturale al suo interno. La parte a sud è caratterizzata da numerose vetrate contigue alla serra che ricevono luce in abbbodanza senza problemi di surriscalamento stagionale grazie ai solai sfruttati come frangisole e alla possibilità di aprire completamente le lamelle di vetro;
- quattro trilocali da 75-90 m^2 cad: abbiamo cercato di minimizzare gli spazi di distribuzione riducendoli al minimo. Così ogni alloggio è stato progettato con un ingresso il più possibile aperto sulla zona giorno, spesso open space contenente soggiorni, cucine e sale pranzo. Di conseguenza, dopo un blocco per i servizi igienici, la zona notte si sviluppa dalla parte opposta. In particolare, gli appartamenti a sud, presentano camere e sale studio a sud ma con affacci prevalentemente est-ovest. In testa al volume di progetto, proiettata verso sud, la serra biocliametica e ventilabile offre una schermatura e funziona da filtro con gli ambienti esterni;
- due bilocali di lusso da 60 m^2 cad: in sommità all'edificio sono stati progettati due attici con vista sulla città di Milano e sul contesto circostante; ampie vetrate su i lati garantiscono una qualità di vita superiore mantenendo comunque la privacy degli inquilini. In particolare, l'appartamento a nord è dotato di un sottotetto adibito nel nostro caso a studio proprio sulla sommità della torre d'angolo. Caratteristica principale è la grande vetrata con vista sui tetti degli edifici circostanti e sui cieli della città.

I sei alloggi più piccoli dispongono anche di una cantina privata nei piani interrati. Tutti invece sono dotati di uno spazio esterno abitabile anche se non riscaldato. Le serre biocliamtiche sono un punto di forza del progetto: queste offrono un ambiente buffer tra l'interno e l'esterno. In particolare è possibile utilizzare l'impianto di coltivazione idroponica per poter coltivare un piccolo orto privato in verticale. Si offre così ai residenti la possibilità di iniziare, continuare o mantenere questo sano hooby anche in centro città. Questa scelta è in linea con la prossima apertura dell'*EXPO 2015 - Nutrire il pianeta* i cui temi principali sono appunto l'agricoltura e la tecnologia.

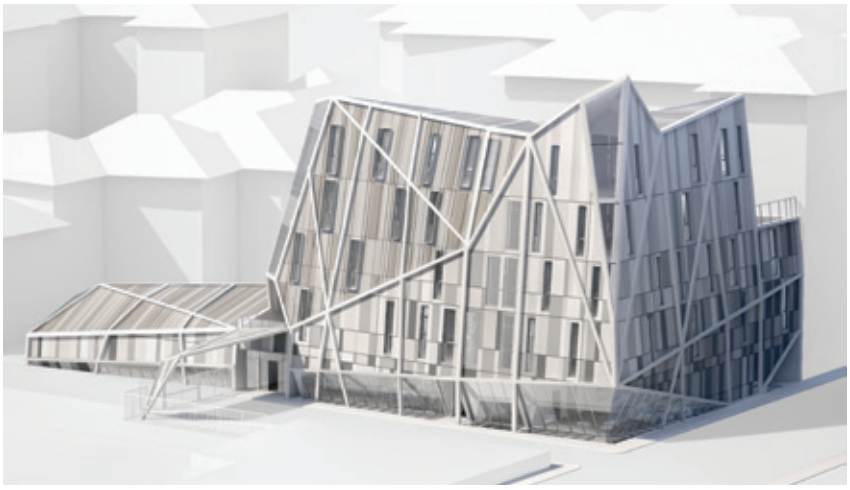
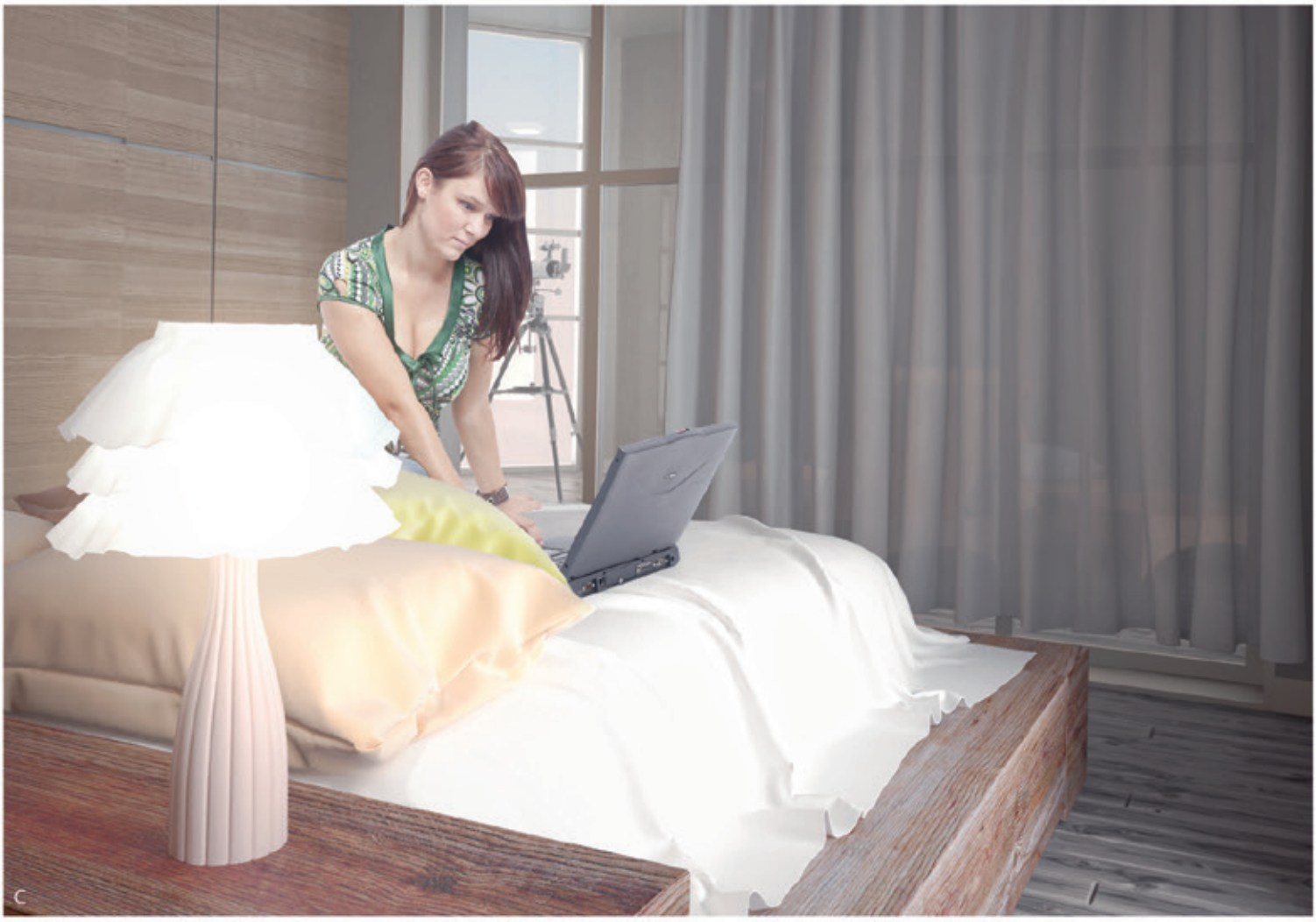


fig. 2.188 - *Vista assonometrica d'angolo*

fig. 2.187 - *Viste degli ambienti interni dell'appartamenti tipo*

A


C

B

Q

2.6 ANALISI FUNZIONALE DELLA MEDIATECA

Prima di procedere alla trattazione delle scelte architettoniche volte alla progettazione di Me-Library, sono stati effettuati sopralluoghi e/o colloqui con il personale di diverse biblioteche. Quindi abbiamo selezionato le biblioteche di nostro interesse ed affrontato un'analisi di pregi e difetti in modo da avere un quadro più chiaro sulla gestione degli spazi delle biblioteche.

2.6.1 MEDIATECA DI SANTA TERESA - MILANO

fig. 2.189 - *Sala della Crociera - Mediateca di Santa Teresa*

La Mediateca Santa Teresa è stata progettata dallo studio di architettura M2P Associati. Essa è parte del progetto di recupero della chiesa settecentesca dei Santi Giuseppe e Teresa. Nasce nel 2003 da un accordo di programma tra quattro enti promotori: Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Regione Lombardia, Provincia e Comune di Milano.

Cenni storici

fig. 2.190 - *Foto Storica - Mediateca di Santa Teresa*

La Chiesa barocca dei SS. Giuseppe e Teresa sorse come ampliamento del monastero delle Carmelitane Scalze fondato nel 1673 alla periferia del quartiere di Porta Nuova. Scarse sono le notizie storiche circa l'edificazione della chiesa che è inserita in una mappa di Milano redatta tra gli anni 1720 e 1722. Le prime notizie dell'edificio apparvero nella 'Descrizione di Milano' di Serviliano Lattuada del 1723: *'E' la chiesa di una sola nave con Architettura Moderna, la quale forma come una piccola croce, essendovi né gli altari né bracci laterali della medesima ed in fronte dell'ingresso maggiore in cui si vede l'immagine di S. Teresa, dipinta dal rinomato Stefanmaria Legnano (conosciuto come "il Legnanino"). Fu questa chiesa dedicata ai Santi Giuseppe e Teresa protettori dell'ordine ed innanzi ad essa vi ha un atrio con porticato per cui si passa dalla parte sinistra alla porta del monastero'.*

fig. 2.191 - *Sala conferenze - Mediateca di Santa Teresa*

La soppressione del monastero e della chiesa avvennero nel 1782, conseguentemente alle limitazioni l'istituto ecclesiastico della 'Manomorta', cioè il privilegio fiscale di cui godevano le proprietà della chiesa, imposte da Giuseppe II. L'edificio passò sotto la proprietà dello stato e destinato nel 1797 alla Manifattura Tabacchi. Dal 1804 il complesso fu unito all'attiguo convento maschile ed utilizzato come zecca, fabbrica di munizioni

ed alloggio militare. Durante la seconda guerra mondiale gli edifici subirono pesanti bombardamenti che risparmiarono soltanto la chiesa, la quale nel 1959 fu sottoposta a vincolo monumentale, con la seguente motivazione: *'caratteristico complesso seicentesco composto dalla chiesa vera e propria e da un cortiletto anteriore. La chiesa possiede un elegante organismo a croce greca con volte a botte sui bracci e calotto al centro, arricchito da stucchi di squisita fattura. Il Cortiletto, aperto anche su via della Moscova, possiede, verso la chiesa, un porticato a colonne abbinate; gli altri lati sono costituiti da edifici più semplici che ne completano armonicamente la composizione'*.

Ma le destinazioni d'uso per cui fu utilizzata successivamente, tra cui quelle di spaccio cooperativo e dopolavoro aziendale, contribuirono al suo degrado. Nel 1974 l'acquisto da parte del Comune di Milano avviò un progetto di recupero del bene che si concretizzò nel 1991 con una convenzione con il Ministero Beni Culturali per il restauro dell'edificio e la realizzazione al suo interno del progetto della ***Mediateca di S. Teresa***.

L'intervento di recupero e rinnovo dello spazio da parte dello studio M2P Architetti Associati, è stato impostato allo scopo di creare un equilibrio tra la solidità dell'edificio seicentesco e la funzionalità e modernità del nuovo utilizzo, attraverso l'impiego di materiali come il vetro e l'acciaio grezzo, ed un inserimento di nuovi elementi come scale, ballatoi e lucernari che ne riorganizzano gli spazi, mantenendo un dialogo tra ambienti nuovi ed antichi che conservasse l'atmosfera di luce e spazialità del luogo.

fig. 2.192 - *Caffetteria vista esterno - Mediateca di Santa Teresa*

L'impianto

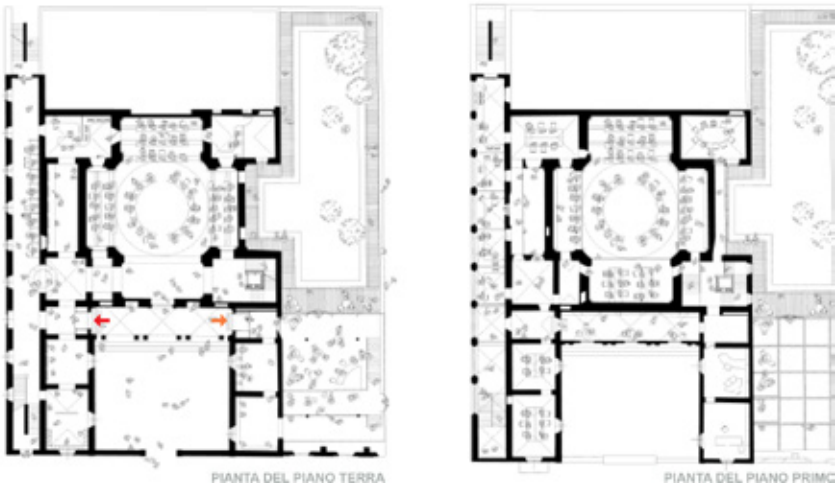


fig. 2.193 - *Impianto - Mediateca di Santa Teresa*

La Mediateca è stata inaugurata ed aperta al pubblico il 13 giugno 2003. Si accede all'edificio da via Moscova per mezzo di un portale che immette in un piccolo cortile. La facciata presenta un portico a tre arcate a tutto sesto con colonne binate, che ricordano quelle del portico del Richini nel cortile d'onore del palazzo di Brera. Vi sono due ingressi. Quello a destra conduce alla caffetteria, mentre quello a sinistra è l'accesso alla Mediateca. L'edificio esternamente appare simmetrico con quattro facce timpanate che formano una croce, addossate al tiburio, e con due corpi laterali che sopravanzano la facciata. Internamente la pianta è a croce greca con un alta cupola centrale sotto la quale è stato realizzato un tavolo circolare per le postazioni informatiche che ne richiama la forma.

Altre postazioni, in tutto 55, sono disposte nel restante spazio dell'ambiente che è detto 'sala della crociera'. Attorno a tre lati della sala corre un ballatoio realizzato in acciaio e vetro che richiama gli antichi matronei delle chiese paleocristiane, su cui sono stati creati spazi utilizzati per le postazioni delle teche Rai e per la consultazione di banche dati o della collezione di filmografia. Il ballatoio è una posizione favorevole per osservare da vicino i resti di affreschi settecenteschi di cui sono ancora visibili parti di finte architetture o alcune teste di putti, che decoravano i bracci della croce.

Dalla sinistra dell'ingresso un corridoio conduce nella Sala Microfilm, situata in quella che doveva essere una delle sacrestie.

Sempre da quel lato una scala conduce alla parte sotterranea o cripta della chiesa, dove sono stati realizzate aule per didattica o corsi. Conclude il complesso una moderna sala conferenze attrezzata per 110 posti.

Nella *sala della Crociera* è conservata una carta geografica d' Italia del 1647, opera di Matteo Greuter, di proprietà della Regione Lombardia. La carta, acquistata ad un'asta Sotheby's dalla Regione e sottoposta a restauro da parte dell'Istituto di Patologia del Libro, è un raro documento inciso a bulino su dodici fogli giuntati, che raffigura la penisola disposta con l' Est verso l'alto e le isole in cartine su scale diverse.

fig. 2.194 - *Sala della Crociera - Mediateca di Santa Teresa*

I servizi

Riconoscendo l'utilità dell'informazione elettronica per esigenze informative ed educative, attualmente la Mediateca offre agli utenti l'accesso a Internet ed alle fonti documentarie elettroniche, digitali e audiovisive come ulteriore strumento di informazione rispetto alle fonti tradizionali, con 55 postazioni a disposizione degli utenti ed illimitati accessi wi-fi. La Mediateca è centro di alfabetizzazione continua, con tutor e corsi che affiancano e integrano l'utilizzo di strumenti multimediali.

Sono presenti inoltre le seguenti risorse:

- Rai teche, il catalogo multimediale della radio e televisione italiana, progetto finalizzato alla digitalizzazione di sceneggiati, film e trasmissioni RAI messe in onda dal 1954 in poi. Comprende gran parte della documentazione trasmessa dalla televisione italiana fino ad oggi. Il data base è completato con i programmi radiofonici delle reti nazionali e la collezione del Radiocorriere TV
- Oltre 5000 titoli di film e documentari in DVD o VHS e più di 1500 cd con registrazioni musicali. Il patrimonio musicale a disposizione del pubblico sarà notevolmente incrementato grazie all'accordo di collaborazione per il deposito legale dei supporti fonografici e videomusicali tra Regione Lombardia, SCF Consorzio Fonografici e Mediateca
- Archivi del Piccolo Teatro di Milano: una raccolta di registrazioni di spettacoli teatrali dall'archivio dell'importante istituzione milanese
- Sala Microfilm. Dal giugno 2011 nella sede della Mediateca è stata trasferita la sala Microfilm della biblioteca Braidense dove è possibile consultare le testate periodiche microfilmate. Sono consultabili oltre 1500 tra giornali e periodici microfilmati, dal XVIII secolo ad oggi. Di queste testate è possibile fare riproduzioni su carta o in digitale. La Sala Microfilm in collaborazione con il sito "Giornalismo e Storia" e con la biblioteca della Facoltà di Filosofia e Storia, dell'Università di Pisa ha realizzato un elenco delle principali emeroteche on-line ad accesso libero

- L'Associazione Homemovies costituitasi nel 2002 a Bologna, tra il 1999 e il 2001 ha avviato lo studio, l'archiviazione e la valorizzazione del cinema amatoriale e familiare, promuovendo il progetto di un Archivio audiovisivo dedicato alle memorie filmiche private. Nel 2009 è stato inaugurato uno spazio operativo permanente di Home Movies presso la Mediateca. E' possibile per il pubblico consegnare proprie pellicole che verranno archiviate, ed ottenere una copia in formato digitale. Il progetto ha ricevuto la Menzione per il Concorso al miglioramento della qualità della Pubblica Amministrazione, indetto dal Ministero per la Pubblica Amministrazione e Innovazione nel 2009
- Due postazioni per ascoltare l'archivio della canzone napoletana. L'Archivio Storico della Canzone Napoletana è un'iniziativa di Radio-RAI, realizzata con la collaborazione della Regione Campania, la Provincia di Napoli e il Comune di Napoli, che si propone di raccogliere, documentare, digitalizzare e mettere a disposizione del pubblico ogni riproduzione musicale del repertorio canoro partenopeo
- Una postazione riservata per la consultazione di Biblioteca senza pareti, una banca dati sui libri d' artista, realizzata dall'associazione Mud Art, in collaborazione con Mediateca, costituita da una prima serie di digitalizzazioni di lavori di maestri contemporanei come Munari, Pistoletto, Wharol ecc.

La Mediateca è inoltre sede di eventi, conferenze, presentazioni di libri ed iniziative legate allo sviluppo della cultura digitale, delle risorse multimediali e dell'innovazione tecnologica. In passato ha ospitato: Letture Multimediali, Meet the Media Guru, Start Up Festival, etc.

Finestra sul mondo, la Mediateca è uno dei luoghi dove si costruisce la nuova cittadinanza senza confini. Punto d'incontro e di dibattito sulla cultura multimediale, promuove eventi, seminari, tavole rotonde e presentazioni, accoglie proposte di formazione e informazione, partecipa a progetti tesi alla diffusione della cultura attraverso la rete.

Conclusioni

Questo progetto purtroppo è da considerarsi un fallimento data la scarsissima affluenza di persone e la delusione dei bibliotecari coinvolti nella gestione.

La gestione di una Mediateca inserita nel circuito Nazione (insieme alla biblioteca Braidense), impedisce una relazione diretta con gli enti comunali, rallentandone notevolmente la gestione.

La Mediateca risulta molto frazionata negli spazi ed è difficile provvedere ad un controllo continuo degli utenti; questa è una delle cause che ha portato a seguito del taglio del personale alla chiusura di due settori importanti della Mediateca (primo piano e piano interrato) limitando notevolmente gli spazi a disposizione degli utenti.

Pur essendo considerato un impianto innovativo ed all'avanguardia, le attrezzature a disposizione degli utenti sono obsolete e l'organizzazione dello spazio comporta l'isolamento di ogni utente l'uno dall'altro. Ad esempio, la *sala della crociera* è arredata principalmente con due tavoli centrali ad ellisse fissi e computer ad ogni postazione che coprono la visione tra gli utenti. Questa scelta progettuale vincola ad una sola conformazione dell'ambiente principale che quindi non è flessibile a modificare la propria morfologia in funzione delle necessità.

Non sono presenti associazioni esterne alla Mediateca le quali dovrebbero essere coinvolte nella gestione e nell'organizzazione di eventi tanto quanto i bibliotecari.

E' stata eliminata la sezione che permetteva la consultazione di giornali e magazine su computer per mancanza di fondi.

La sala conferenze è costituita da arredo fisso, compreso il tavolo principale. Non essendo rimovibile impedisce l'utilizzo della sala conferenze per concerti.

La caffetteria, invece, è uno dei punti forti della Mediateca. Essa considerabile il simbolo dell'impianto grazie al suo carattere architettonico che si distacca dal contesto in

fig. 2.195 - *Caffetteria vista interno - Mediateca di Santa Teresa*

cui è inserita. Consiste in un cubo di vetro che protegge una porzione della piazza su cui si affaccia. L'arredo in legno è molto confortevole e l'integrazione delle piante nel design interno rimarca la sensazione di essere parte della piazza.

Attualmente la caffetteria è chiusa al pubblico, ma è in previsione di riaprire i primi mesi del 2014. Lo spazio all'aperto di fronte alla caffetteria è spesso usato durante il periodo caldo come cinema all'aperto, in sostituzione della sala conferenze o per eventi in genere.

La mancanza di zone studio e programmi destinati agli studenti, di programmi di inserimento degli immigrati, la scarsità delle attrezzature con cui è arredata, la disorganizzazione degli spazi, la mancanza di programmi per gli anziani, etc., rende questa Mediateca un cattivo esempio di progettazione e gestione ed aggrava il debito pubblico senza offrire alcun servizio.

2.6.2 BIBLIOTECH - TEXAS

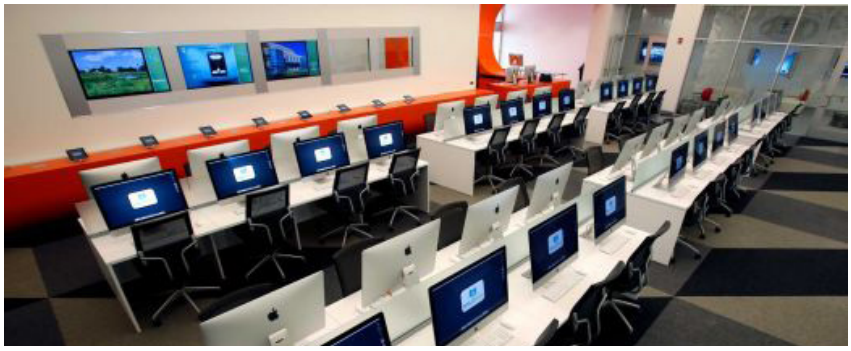


fig. 2.196 - *BiblioTech, Texsas*

BiblioTech è la prima digital library al mondo. Attraverso questa nuova biblioteca, i residenti di Bexar Country (più precisamente San Antonio) in Texas hanno la possibilità di avere accesso a più di 10000 e-books. Attualmente sono a disposizione 600 e-readers, 200 e-readers per bambini, 48 stazioni per computer, 10 laptos e 40 tables.

L'obiettivo di questa struttura è offrire l'opportunità di accedere alla tecnologia ed alle sue applicazione per migliorare l'educazione e l'alfabetizzazione, promuovere la lettura e dare ai cittadini gli strumenti necessari per vivere nel 21esimo secolo.

Ma questa non è una biblioteca completamente senza libri: *'The only thing I believe we will charge for is if you want to print out something, we will charge for the copies you would want to print out'*. Le nuove biblioteche non sono volte all'eliminazione dei libri cartacei, ma, piuttosto, assecondano una concezione ibrida. Se desidero oppure ho la necessita di consultare un libro che è archiviato dall'altra parte del mondo, se è stato digitalizzato, tramite il servizio di print della biblioteca posso stamparlo e leggerlo senza dover percorrere migliaia di chilometri.

BliblioTech è la prima libreria interamente digitale senza libri cartacei.

In un contesto dove la popolazione è costituita prevalentemente da ispanici e il livello socioeconomico tende verso il basso, la Contea di Bexar, dove solo il 75% degli abitanti ha accesso a Internet, è, secondo il Giudice della Contea nonché ideatore del progetto, Nelson Wolff, il luogo adatto per far nascere una struttura del genere. *'La lettura su ebook sta crescendo e i libri digitali stanno aumentando, così abbiamo pensato: perché non costruiamo una biblioteca digitale, magari ad un terzo del costo rispetto ad una normale?'* Ha detto Wolff. *'Noi sappiamo di essere all'avanguardia'*, ha continuato. *'Qualcuno però ha detto qualche giorno fa: "esistono 15.000 biblioteche. Sei sicuro di sapere cosa stai facendo, perché nessuna di loro lo ha mai fatto?" '*. Ma nonostante lo scetticismo, Wolff è andato avanti nella sua impresa e nel giro di un giorno dall'apertura, già 2000 residenti avevano fatto domanda per registrarsi alla biblioteca.

Per interessare i giovani lettori, che secondo il Giudice sono il pubblico più vicino al nuovo tipo di lettura, la biblioteca dispone di una camera per bambini dove gli e-reader sono precaricati con contenuti adatti alla loro età, e mensole e scaffali di libri virtuali per i più piccoli. Per il pubblico di tutte le età, invece, la biblioteca dispone per il momento di 10 mila titoli grazie ad un contratto con la *3M Cloud Library*, cifra che, come afferma Wolff, continuerà a crescere nel tempo.

La voce ha cominciato a spargersi in fretta e il progetto ha avuto sin da subito una forte risonanza mediatica diffusa tramite la BBC e i maggiori quotidiani statunitensi. C'è da dire, però, che l'idea è stata accolta dal pubblico locale non come una vera e propria rivoluzione. Le università della Contea di Bexar, infatti, hanno già da qualche anno cominciato a rimpiazzare i libri cartacei con gli ebook e, secondo un'ultima ricerca firmata Pew Internet and American Life Project, un quinto degli americani adulti ha letto almeno un ebook nel 2012.

Maureen Sullivan, presidente uscente della American Library Association, riconosce però la Bibliotech come qualcosa di completamente innovativo in quanto *'ciò che c'è di diverso è che questa sarà sin dall'inizio una libreria soltanto digitale'*. Più scettico è, invece, riguardo l'incremento della lettura grazie al digitale. *'Di sicuro la tecnologia ha un fascino tutto nuovo per i giovani, ma in che modo questa stia aiutando le nuove generazioni ad avvicinarsi alla lettura è ancora una questione aperta'*.

La biblioteca è costata u milione e mezzo di dollari, ma gli ideatori della biblioteca sono convinti che i costi di gestione saranno di molto inferiori rispetto ad una comune biblioteca.

I servizi

fig. 2.197 - *Impianto - BiblioTech, Texas*

I sevizi offerti da questo impianto sono molto simili ai contenuti proposti per Me-Library, ovvero:

- accesso alle collezioni digitali di libri, audiolibri, video-corsi, etc.
- servizio internet
- classi volte all'insegnamento all'utilizzo di computer
- computer, tablet e laptop sono a disposizione degli utenti
- e-readers disponibili al prestito oltre che per la consultazione
- programmi per bambini e per adulti
- luogo di aggregazione e relax
- sale studio

fig. 2.198 - *Ashley Eklof - BiblioTech, Texas*

Conclusioni

Sin dall'apertura sono stati registrati più di 7000 utenti iscritti alla biblioteca, ma è ancora prematuro ipotizzare la buona riuscita di questo progetto in quanto un'innovazione di questo tipo attira la curiosità di molte persone. Il successo di questo progetto ci auguriamo possa essere discusso con il passare di qualche anno.

'At the beginning, we were unsure how the public would respond to this new model of libraries. We have had positive feedback from the community and people all around the world, which is exciting for us. We have been open since September 14th, and have almost 10,000 patrons. Though, true success cannot be measured in such a short time, we are off to a good start.' *cit.Ashley Eklof*

2.7 Me-LIBRARY - PROGETTAZIONE

La progettazione della biblioteca del *Cigno* nasce dall'idea di creare uno spazio completamente diverso dalle comuni mediateche. La nostra idea è nata a seguito della visione di numerosi congressi e letture riguardanti una nuova concezione basata sulla creazione di questi spazi. Definite '*condensatori sociali*', le nuove biblioteche hanno lo scopo è offrire molte opportunità anziché limitarsi interamente al servizio di archiviazione e prestito del libro.

Brewster Kahle, fondatore di *Internet Archive* e della *Open Content Alliance*, durante il suo intervento *'A digital library, free to the world'* nel 2005, esprime le sue idee ed il suo lavoro volto a realizzare un archivio digitale open source. Ad oggi continua a dirigere *Internet Archive*, ovvero la realizzazione della sua visione di una biblioteca digitale globale e gratuita, che rende accessibili oltre ai libri anche altro materiale digitale e altri tipo di documenti, video, audio, concerti musicali liberamente redistribuibili, programmi TV, trasmissioni radio, istantanee del World Wide Web, etc. Questi eventi mostrano l'effettiva possibilità di progettare biblioteche completamente digitali (la prima è stata aperta in Texas quest'anno, BiblioTech).

Cosa dovrebbe spingerci a frequentare una biblioteca digitale quando potremmo consultare gli archivi digitali comodamente seduti sul proprio divano?

La risposta è semplice. La nuova biblioteca pubblica è anzitutto:

Centro e laboratorio di informazione, rispetto alla quale funge sia da porta di accesso sia da strumento di orientamento

Purtroppo, l'accesso alla rete è ancora a disposizione di una percentuale di popolazione molto bassa a causa della mancanza di mezzi informatici quanto della conoscenza del loro utilizzo. Se questo discorso si estende globalmente ai paesi in via di sviluppo, è chiaro quanto il problema del *digital divide* abbia una forte importanza.

La nostra visione di biblioteca è quindi volta a garantire l'accesso al mondo dell'informazione ed alla relativa formazione per il suo utilizzo.

Infrastruttura della conoscenza

Ovvero deve essere in grado di rendere disponibili le risorse culturali ed incoraggiare all'informazione. La biblitoeca pubblica deve soprattutto essere in grado di guidare l'utente nella propria ricerca dell'informazione che sta cercando.

Nella nostra visione, ci aspettiamo che Me Library collabori attivamente alla gestione e produzione di materiale digitale con accesso pubblico e accolga associazioni volte alla divulgazione di queste idee, consentendone lo sviluppo.

Centro di aggregazione sociale

Ad oggi non esistono spazi di aggregazione sociale pubblici se non i centri commerciali e le biblioteche. La gestione delle biblioteche da parte di giovani o la collaborazione con associazioni no-profit, agevola l'utilizzo di questi spazi come luogo d'incontro. L'arte e la cultura presente nelle biblioteche ha un'incredibile capacità di accompagnare la crescita degli utenti ed insegnare indirettamente il senso civico.

Un'altra funzione molto importante è l'integrazione. L'Italia e specialmente Milano soffrono di un altissimo tasso di immigrazione costituita principalmente da persone proveniente dal terzo mondo e quindi prive di formazione. Queste persone sono un gravissimo peso per la nostra società. Un compito molto importante delle biblioteche è la creazione di associazioni per l'informazione e l'inserimento di queste persone nelle nostre città.

A questi punti, comuni nelle descrizioni di Mediateca, aggiungiamo anche il concetto di ***Digitale***.

A differenza delle nuove biblioteche, Me Library ha la caratteristica aggiuntiva di essere

fig. 2.199 - *e-reader Kindle di Amazon*

principalmente basata sulla lettura e la formazione attraverso materiale completamente digitale.

Questa nostra visione nasce da una passione nei confronti della tecnologia. La nostra generazione e le successive sono sempre più vicine all'utilizzo della tecnologia sin dalla tenera età. Quest'utilizzo è diventato ad oggi una necessità ed è per questo che è opportuno rispondere a questa nuova esigenza.

Il problema principale dell'attrezzare una biblioteca digitale è il rapido avanzamento della tecnologia che renderebbe obsoleta la biblioteca in pochi anni di vita.

Crediamo sia possibile evitare questa condizione progettando questi spazi correttamente.

Ad oggi gli e-book sono uno strumento molto efficace per la consultazione di materiale digitale e non crediamo vi possano essere notevoli evoluzioni tecnologiche durante i prossimi 10 anni.

Attrezzare la biblioteca con queste tecnologie anziché con laptop o desktop (come di consuetudine) consentirebbe di evitare il decadimento della biblioteca negli anni. Il prezzo di questi dispositivi è molto basso e conveniente per la lettura di libri.

Sulla base della mia esperienze, ho riscontrato che praticamente tutti gli studenti sono in possesso di computer con prestazioni proporzionate alla tipologia di lavoro che devono svolgere, è quindi loro interesse lavorare con la propria attrezzatura. Questo significa che in una società come quella di Milano, l'utente giovane medio non si aspetta la disponibilità di computer per svolgere il proprio lavoro.

Personalmente trovo molto fuori luogo l'equipaggiamento con computer 'fissi' delle mediateche. Gli utenti che sfruttano queste attrezzature a Milano sono spesso anziani ed immigrati. La condizione in cui si trovano ad usufruire di questi spazi è completamente non integrata, sono isolati dal resto degli utenti. Con questo non intendo che un anziano debba stare fianco a fianco con uno studente che prepara un esame; questa condizione è infatti molto malvista dai giovani che si sentono in qualche modo disturbati da una persona estranea all'ambiente che cercano. Quindi il prevalere di utenze giovani o anziani sarebbero in conflitto. Crediamo sia opportuno invece creare degli spazi permeabili sia per gli uni che per gli altri utenti, in modo che non si sentano isolati, ma che abbiamo ognuno un proprio ruolo nella biblioteca.

La visione da parte dei giovani dei comuni strumenti adottati dalle biblioteche (principalmente computer fissi) li porta a pensare alla biblioteca come qualcosa di obsoleto o comunque non contemporaneo e facilitano il distacco da questo luogo di aggregazione.

L'approccio degli utenti è solitamente volto all'uso della rete informatica per contattare altre persone tramite software come *Facebook*, *Viber* o *Skype* oppure per ricerca di informazioni sul web. E' completamente fuori luogo l'utilizzo di postazioni fisse per questo servizio. Qualsiasi tablet è in grado di svolgere tale attività e consentirebbe inoltre di evitare l'isolamento di queste persone.

Tra le varie tipologie di tablet oggi in commercio, ve ne sono molti a basso costo. Anch'essi come gli e-reader, aumentano le loro prestazioni con gli anni, ma in sostanza offrono lo stesso servizio. Risparmiando il costo iniziale dell'impianto, è possibile prevedere ogni 5 o 10 anni un aggiornamento dell'attrezzatura che consentirebbe alla mediateca di essere sempre aggiornata.

Un altro concetto molto importante per il corretto funzionamento di questi spazi è l'integrazione di associazioni esterne alla comune gestione delle Mediateca.

Prendiamo ad esempio la biblioteca comunale di Paullo (periferia Est di Milano). Ho avuto l'occasione di frequentare gli organizzatori di un associazione no-profit chiamata *Caffè Doppio*. Inizialmente la biblioteca era utilizzata sporadicamente da pochi utenti. Dopo 4 anni dalla nascita di quest'associazione, la biblioteca è ricca di eventi e soprattutto è un luogo di aggregazione per moltissimi ragazzi ed anziani della città che condividono questo spazio.

2.7.1 PROGRAMMA BIBLIOTECONOMICO

La scelta e l'organizzazione delle diverse funzioni di Me-Library sono state definite a seguito dell'analisi di diversi modelli biblioteconomici di recente formulazione.

Il modello che più si avvicina ad essere applicabile a Me-Library è il modello tedesco *Dreigeteilte Bibliothek* (biblioteca tripartita o a tre livelli). Questo modello nacque nei primi anni '70 ad opera di Emunds, allora direttore della biblioteca civica di Munster. L'innovazione da parte di questo modello è la forma di catalogazione per aree di interesse che permetta la ricerca di documenti, oltre che per soggetto e autore anche per il cosiddetto *'terzo interesse'*. A partire da questa modalità di catalogazione, viene pensato un nuovo settore della biblioteca, il *settore d'ingresso* o primo livello che si aggiungeva ai due settori tradizionali, (lettura/consultazione e magazzino).

Accostandosi a questa idea, Me-Library ha la necessità di frazionarsi in aree con connotazioni diverse rispetto alle classiche biblioteche. Infatti, data la tecnologia su cui è basta, non richiede un settore a scaffale aperto, o perlomeno, non è il settore di primaria importanza ed allo stesso tempo non ha la necessità di avere un terzo (o magazzino) livello molto contenuto.

In occasione dell'IFLA Library Building Seminar tenuto a Brema nel 1977, l'architetto inglese *Harry Faulkner-Brown* enunciò i dieci requisiti a suo avviso essenziali a un buon edificio di biblioteca. Divenuti famosi come i 'dieci comandamenti' di Faulkner-Brown, hanno conosciuto un'influenza ininterrotta e senza concorrenza fino a pochi anni fa.

I principi sulla quale è stata progettata Me-Library seguono le regole di Brown:

1. *flessibile*, sicché il suo schema complessivo, la sua struttura e i suoi servizi siano facilmente adattabili ad usi diversi
2. *compatta*, per rendere facili e ridotti al minimo i movimenti dei lettori, del personale e dei documenti
3. *accessibile*, sia dall'esterno sia dall'ingresso verso gli spazi interni, grazie ad un disegno intuitivo che necessiti solo di un minimo di indicazioni aggiuntive
4. *espandibile* (estendibile), per consentire la crescita futura minimizzando gli interventi pesanti
5. *variata* nell'allestimento della sistemazione delle sue raccolte e dei servizi per la lettura per dare ampia libertà di scelta
6. *organizzata* in modo da mettere in contatto in modo appropriato libri e lettori
7. *confortevole*, per promuoverne l'uso efficiente
8. *costante* nelle condizioni ambientali per l'integrità del materiale librario
9. *sicura*, per controllare il comportamento degli utenti e prevenire la perdita di libri
10. economica, per poter essere costruita e mantenuta con il minimo di risorse, sia economiche sia di personale.

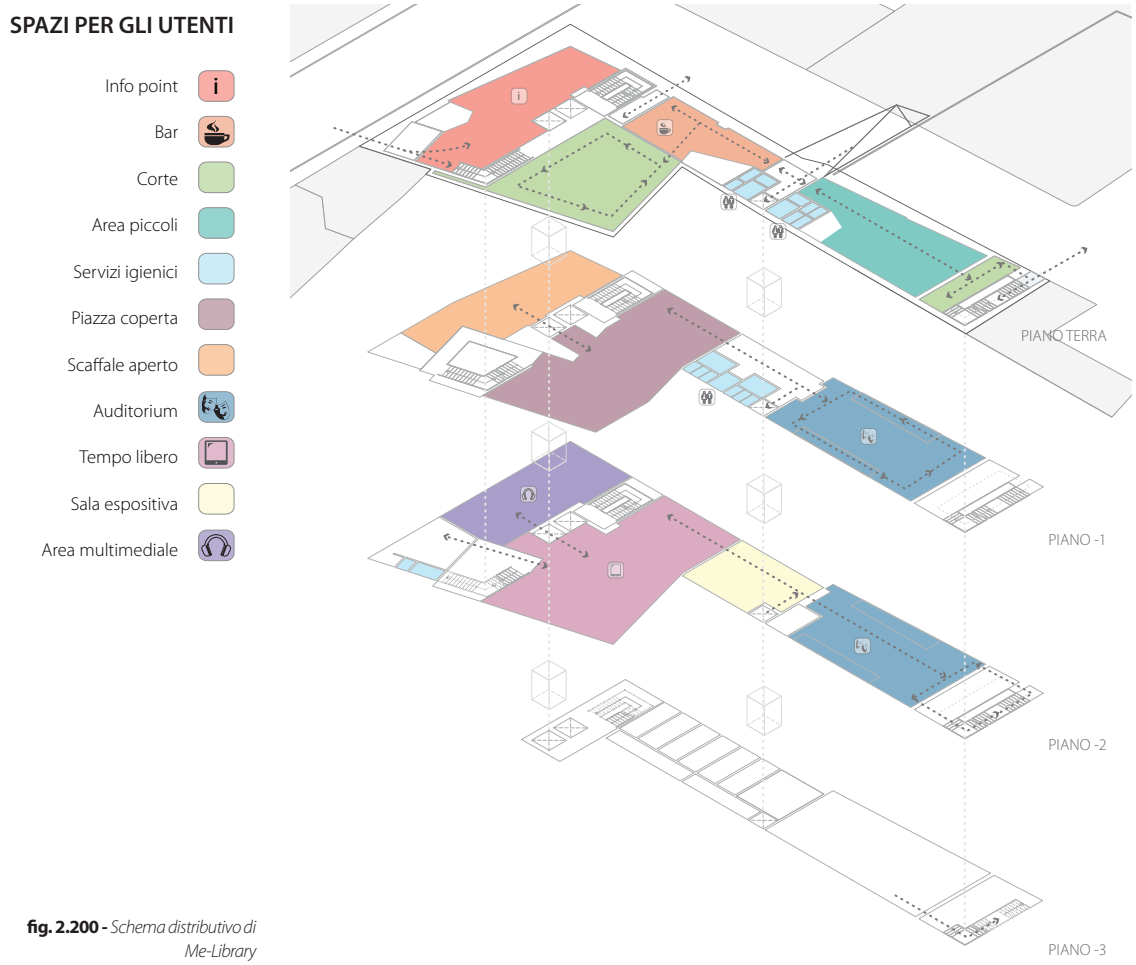


fig. 2.200 - *Schema distributivo di Me-Library*

2.7.2 IL PRIMO LIVELLO - SETTORE D'INGRESSO

L'accesso da parte della città a Me-Library avviene attraverso via Palermo. L'interno piano terra è permeabile alla vista in modo da relazionare la città con la Mediateca e far sentire i cittadini parte di questo spazio.

La funzione principale che assolve questo ambiente è di *Info-point* per la città. E' un posto accogliente con sedute di diverso genere attrezzato con pannelli digitali che mostrano e raccontano i segreti di Milano sia ai turisti che agli abitanti. Saranno disposte delle isole informative e posti di accesso all'informazione in piedi oltre che opuscoli, guide turistiche per la città, depliant e locandine di manifestazioni artistiche e culturali, orari dei servizi pubblici e di trasporto, altri materiali informativi, etc. Per aiutare gli utenti e gestire il servizio di prestito, in questo ambiente è localizzata la reception che svolge la funzione di accoglienza e aiuto per il cittadino. Grazie alla presenza di vani a doppia altezza è possibile intuire la distribuzione degli spazi ai piani interrati offrendo un percorso graduale e progressivo alla scoperta della Mediateca ed ai suoi servizi. La scelta di adottare un secondo ingresso per il caffè letterario è dovuta alla necessità di mantenere attiva la funzione di ristorazione anche durante gli orari di chiusura della Mediateca evitando problemi di sicurezza. La sezione dedicata ai piccoli e piccolissimi è localizzata all'interno della 'coda' del progetto. Questo spazio è pensato per essere attrezzato con pavimenti e pareti composti da porzioni smontabili e rimontabili per il gioco. Sono previsti tablet ed e-reader precaricati con contenuti per bambini e un team di persone qualificate formeranno i bambini all'utilizzo di questi strumenti multimediali.

2.7.3 IL SECONDO LIVELLO - PIAZZA COPERTA

Questo spazio nasce dalla concezione di creare un'estensione del proprio salotto di casa. Un posto accogliente ed attrezzato con sedute di diversi materiali, forme e colori per offrire una comfort di lettura sempre diverso. Lo spazio è condiviso da tutte le tipologie di utenti ed ospita una zona di lettura informale, attrezzata con piccoli salotti in cui sono disposti degli espositori per magazine e giornali di attualità divisi per aree di interesse più comuni. La scelta dei temi cui dedicare questi settori e il modo di allestirli possono variare; gli scaffali sono variegati per formato e colore e parte dei libri viene esposta di piatto. Saranno organizzate piccole mostre tematiche di breve durata e continuamente rinnovate (autore della settimana, il tema del mese) che incuriosiscano l'utente a frequentare la Mediateca. L'integrazione ai supporti cartacei è accompagnata dalla possibilità di utilizzare i propri e-reader o tablet oppure usufruire dei dispositivi della Mediateca. Gli utenti più esigenti, avranno la possibilità di chiedere al personale di stampare i propri libri sfruttando le stampanti disposte all'interno degli uffici del personale. Sono state inoltre predisposte due sezioni a scaffale aperto che abbiano la possibilità di catalogare temi di interesse con maggior richiesta da parte degli utenti quali la letteratura ed i romanzi. In questo livello sono disposti i servizi per la Mediateca, baricentrici rispetto al suo sviluppo. Inoltre è accessibile la sala polifunzionale flessibile. Questa è progettata per mutare la sua conformazione in base alle funzioni che deve ospitare. Durante la giornata è stata pensata per essere una zona multimediale in cui vedere film, ascoltare audiolibri o musica o altro. L'arredo è mobile e confortevole e il grado di illuminamento è basso per consentire una migliore immersione nel mondo multimediale. Nel caso di eventi, questa sala muta la sua forma, diventando un auditorium come spiegato dallo schema riportato sotto.

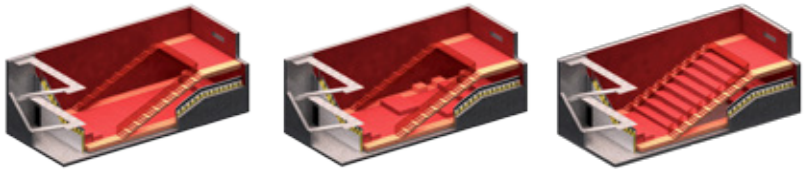


fig. 2.201 - *Diverse configurazioni della sala polifunzionale: espansione della sala espositiva, sala multimediale e auditorium.*

2.7.4 IL TERZO LIVELLO - DIGITECA

Il terzo livello viene sostituito rispetto al magazzino del modello tedesco con un reparto innovativo, il cuore di Me-Library. Queso ambiente è caratterizzato da una diminuzione di luce naturale che necessita di essere compensata attraverso l'illuminazione artificiale controllata per garantire una corretta visione dei pannelli digitali. L'arredo è caratterizzato da forme che si ispirano all'arte contemporanea ed incuriosiscono l'utente. E' in questo spazio che è riconoscibile la connotazione tecnologica della Mediateca. Oltre alla zona digitale centrale, è stata progettata una seconda zona tecnologica. A differenza delle altre mediateche attrezzate con computer fissi, in questo spazio sono stati disposti monitor professionali volti alla realizzazione di produzioni grafiche o architettoniche. Il cuore all'avanguardia della mediateca è invece rimandato al locale macchine al piano -3. Il locale impianti è attrezzato con una sala server e render farm. L'utente che svolge lavori grafici è sempre in possesso della propria attrezzature che, essendo portatile, non basta a svolgere al meglio la propria professione. Connettendosi al monitor con il proprio laptop può avvantaggiarsi della scheda grafica del proprio computer per avere due monitor a disposizione. Il calcolo richiesto dai software grafici è invece rimandato alla render farm del locale impianti. Questo è un servizio molto innovativo ed agevola gli utenti appassionati di queste discipline. La presenza di una funzione così specializzata, arricchirebbe l'utenza di persone con passioni comuni, che difficilmente si incontrerebbero se non all'interno di Me-Library. Oltre alla funzione tecnologica, è stato sfruttato il problema della luce naturale, posizionando a questo livello una sala espositiva (illuminata con luce artificiale a basso consumo) che precede il livello inferiore della sala polifunzionale.

OTTIMIZZAZIONE SOLARE

genesi della forma

capitolo 03

3.1 APPROCCIO SOLARE

L'interesse per le potenzialità dell'energia solare sono da molti anni oggetto di studio. Nella progettazione degli impianti fotovoltaici un ruolo di primissima importanza è rivestito dal posizionamento dei pannelli solari fotovoltaici e dal loro orientamento verso il sole. Ovviamente questi accorgimenti devono essere rivolti ad ottimizzare il fattore di vista tra la fonte di irraggiamento e l'elemento captante per massimizzare la quantità di energia ricevuta. Questo approccio concentra però tutti i ragionamenti su pochi metri quadrati di pannelli solari, limitandosi a coprire il fabbisogno del singolo utente.

La nostra idea è stata quella di tentare di fare contribuire a questo scopo la maggior parte delle superfici disponibili dell''involucro totale a disposizione così da poter coprire i carichi energetici interni e mettere a disposizione il surplus di energia per coprire altre necessità legate ad esigenze esterne quali trasporti ecosostenibili e esigenze dettate dall'imminente digitalizzazione della città di Milano in vista dell'EXPO 2015.

Modellare il volume di partenza, suddividerlo in più superfici, orientare queste ultime nella posizione migliore sono stati gli input dai quali è scaturito il progetto. Tenendo conto della posizione del lotto, vincolato tra altri edifici del contesto storico, abbiamo individuato i limiti e cercato di fare emergere tutte le sue potenzialità.

Abbiamo così intrapreso un percorso di informazione, studio e approfondimento di quelle che sono oggigiorno le strade percorribili in questa direzione.

3.1.1 STATO DELL'ARTE

Molto tempo è stato dedicato ad informaci sul reale stato dell'arte e sugli ultimi approcci innovativi in merito a questo campo di studi.

Parte di queste innovazioni sono state portate avanti e personalmente approfondite dall'Ing. Gabriele Lobaccaro e dal suo lavoro di ricerca.

Ingegnere e architetto, il suo ambito attuale di approfondimento riguarda le simulazioni climatiche sugli edifici e su aree di più ampia scala.

Attualmente è un Postdoctoral Research Fellow presso il Department of Architectural Design, History and Technology Faculty of Architecture and Fine Art NTNU, Norwegian University of Science and Technology - Smart City Research Group, attraverso software di calcolo energetico e illuminazione naturale, il suo lavoro intende seguire un processo volto ad ottenere volumetrie di progetto che offrano il massimo accesso solare attraverso simulazioni di calcolo.

Gabriele è membro di:

- International Energy Agency Task 41 Team;
- "Solar Energy and Architecture" and Task 51 "Solar Energy and Urban Planning";
- ASHRAE.

fig. 3.202 - *Ing. PhD Gabriele Lobaccaro*

Le sue pubblicazioni e i suoi articoli riguardano le simulazioni e e le analisi di accesso solare e sistemi per laproduzione di energia rinnovabile.

Le sue specialità riguardano:

- Solar Dynamic Simulation_Modeling Generative Architecture_Solar Architecture Design
- Solar Energy_Urban Design_Building design_PV system integration_Construction details
- Urban heat Island analysis

Attraverso un percorso di ragionamenti climatici tipici per ogni luogo di progetto, con simulazioni e modifiche iterative, egli intende promuovere anche un nuovo approccio progettuale.

La possibilità di conoscerlo e l'opportunità di lavorare al suo fianco è stata così il punto di partenza di un percosro di studi volto ad ottenere un progetto che offrisse il massimo accesso solare per l'edificio.

3.2 UN APPROCCIO PROGETTUALE PER L'OTTIMIZZAZIONE SOLARE DEI VOLUMI COSTRUITI

Recenti studi mostrano come il 31% dell'energia elettrica e il 44% dell'energia termica prodotta siano consumate dalle abitazioni, dagli uffici e dagli edifici commerciali causando il 36% delle emissioni di CO_2 in Europa. La maggior parte di quest'energia è utilizzata per il riscaldamento [78%] e per la climatizzazione [25%]1. Questi dati dimostrano quale sia la reale importanza della progettazione di edifici autosufficienti in grado di produrre l'energia necessaria al proprio fabbisogno a partire da fonti rinnovabili per ridurre l'impatto sul clima. Nelle recast della Energy Building Perfomance Directive [2010/31/EU], la Commissione Europea ha stabilito che a partire dal 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione all'interno dell'Unione Europea dovranno raggiungere lo standard Nearly Zero Energy Building.

In questo panorama, si rende necessario lo sviluppo di un processo di progettazione integrata che prenda in considerazione i principali aspetti tecnici fin dalle prime fasi di progettazione. Quindi il corretto orientamento, l'esposizione solare e gli sviluppi progettuali, così come le proprie performances e la scelta dei sistemi fotovoltaici e termici integrati, dovranno essere considerati a partire dalle fasi iniziali. Il procedimento creativo dovrebbe essere così condotto tanto attraverso una serie di valutazioni circa differenti forme e osservando i loro effetti in termini di accesso solare e irraggiamento sull'edificio stesso, quanto sugli effetti generati sul contesto circostante.

In questa pagine mostreremo il processo di ottimizzazione seguito per definire il volume di progetto lungo via Palermo. A partire dall'impronta di una pianta a L ruotata di 12° antiorari, vincolata dagli standard urbanistici con un orientamento prevalente Est-Ovest, tenendo conto della sua collocazione in un'area densamente urbanizzata e chiusa tra edifici preesistenti; rispettando i limiti comunali imposti [altezze, volumi, abitabilità degli spazi] è stato condotto uno studio di accessibilità solare delle superfici a disposizione.

Obiettivi EU "Nearly Zero-Energy Building" annunciati per il 2020

L'European Climate Foundation intende promuovere politiche climatiche ed energetiche che intendano ridurre notevolmente le emissioni di gas serra in Europa e che aiutino la Comunità a svolgere un forte ruolo di leadership internazionale nel mitigare i cambiamenti climatici.

Un'azione internazionale coordinata è essenziale per ridurre l'eccesso di emissioni di gas serra. Il Global Climate Policies Programme lavora per promuovere la creazione di un ambiente internazionale favorevole che faciliti, rafforzi e aumenti la coscienza collettiva anche a partire dalle azioni domestiche più elementari. Nel breve termine, l'efficienza energetica è il mezzo più economico per ridurre le emissioni di CO_2 nazionali europei. Il Programma di Efficienza Energetica persegue una serie di iniziative strategiche per aumentare l'efficienza energetica nell'economia europea. Entro il 2020, la Commissione europea stima che il risparmio energetico esistente dell'UE porterà soltanto al 11% del prefissato target di riduzione del 20% nel consumo di energia primaria. L'obiettivo è di

assicurare che politiche energetiche efficaci vengano adottate e attuate a livello UE e nazionale, sfruttando una rete di contatti politici, borsisti e altri esperti di Bruxelles e degli altri Stati membri.

Il programma UE sulle politiche climatiche cerca di accelerare la transizione dell'Europa verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

Nel dicembre 2008, l'Unione Europea ha approvato il pacchetto europeo "clima-energia", conosciuto anche come strategia "20-20-20" in quanto prevede entro il 2020:

- il taglio delle emissioni di gas serra del 20%;
- la riduzione del consumo di energia del 20%;
- il 20% del consumo energetico totale europeo generato da fonti rinnovabili.

Il pacchetto comprende anche provvedimenti sui limiti alle emissioni delle automobili e sul sistema di scambio di quote di emissione dal 2013 al 2020. Gli obiettivi per il 2020 sono quelli di:

- ridurre i gas ad effetto serra di almeno il 20% rispetto ai livelli del 1990 (del 30% se gli altri paesi sviluppati assumeranno impegni analoghi);
- incrementare l'uso delle energie rinnovabili (eolica, solare, biomassa) giungendo ad una quota dell 20% di energia rinnovabile sul totale dei consumi di energia (attualmente le rinnovabili forniscono circa l'8,5% dell'energia totale);
- diminuire il consumo di energia del 20% rispetto ai livelli previsti per il 2020 grazie ad una migliore efficienza energetica.

Per arrivare alla redazione della Direttiva 2009/29/CE, l'UE si era prefissata in precedenza i tre obiettivi che la caratterizzano (ridurre i consumi e aumentare il risparmio energetico, ridurre le emissioni, aumentare la produzione di energia da fonti rinnovabili) e aveva messo in atto una serie di protocolli e azioni, concentrati soprattutto nel periodo tra il 2001 e il 2008, che possono ora essere definiti come preparatori e propedeutici.

Tali atti sono formalizzati in una serie di Direttive Comunitarie tra le quali ne ricordiamo di seguito alcune con i loro obiettivi specifici:

- 2001/77/CE: sviluppo delle fonti rinnovabili elettriche con obiettivi senza sanzione;
- 2004/8/CE: promozione della cogenerazione;
- 2005/32/CE: progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia;
- 2006/32/CE: efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici;
- 2008/98/CE: rifiuti;
- 2009/29/CE (che riprende e modifica la 2003/87/CE): miglioramento ed estensione del sistema comunitario sullo scambio di quote di emissione di gas a effetto serra.

Proprio questa ultima direttiva nominata, prevede la revisione dello schema ETS: tale revisione vuole garantire un taglio maggiore di emissioni nei settori maggiormente energivori.

Un ulteriore importante direttiva è quella che riporta gli obiettivi e i mezzi finalizzati al raggiungimento della quota di 20 % di energia prodotta da fonti rinnovabili misurata sui consumi finali. L'UE ha infatti pubblicato il 5 giugno 2009 la Direttiva 2009/28/CE in cui vengono esplicitati gli indirizzi relativi al settore fonti rinnovabili. Secondo tale direttiva, ogni Paese membro avrebbe dovuto preparare entro il 30 giugno 2010 un primo Piano di Azione Nazionale (PAN).

Quando si parla di consumi finali di energia si intendono tutte le forme di energia nel settore civile come in quello industriale: elettricità in primis ma anche consumi per il condizionamento (riscaldamento e raffrescamento) e nei trasporti, dove la previsione indica che i biocombustibili vadano a coprire il 10 % dei consumi (la ripartizione degli obiettivi tra i diversi Paesi è stata fatta a partire da una stima dei consumi al 2020 e dal contributo dato alla produzione dalle fonti rinnovabili nel 2005).

Oltre a queste stime sono stati considerati la popolazione e il Pil; da questi calcoli l'obiettivo assegnato all'Italia è risultato essere del 17%: tale quota è da ripartire secondo ulteriori obiettivi specifici tra le singole Regioni (secondo una suddivisione chiamata "burden sharing").

Oltre al PAN redatto in fase iniziale, l'UE insiste molto sulla raccolta statistica puntuale

dei dati sui consumi e sulle diverse azioni intraprese a livello locale dai singoli Paesi per il raggiungimento dei propri target così da mettere in relazione le diverse esperienze, confrontarle e definire così i migliori piani di sviluppo.

3.3 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Questo approfondimento vuole dimostrare la validità di un nuovo approccio progettuale basato sull'ottimizzazione solare del volume costruito. Il lavoro propone delle linee guida per la valutazione delle potenzialità solari per edifici in aree altamente urbanizzate attraverso un processo di modellazione parametrica che permette di analizzare le relazioni tra edifici e contesto.

Questo metodo è il risultato di un approfondito programma di analisi costituito dallo studio di diversi scenari e da un confronto finale tra di essi.

Scelte le condizioni al contorno e le progressive variazioni delle superfici e del volume, attraverso un sistema a riferimento incrociato abbiamo ottenuto dei dati scientifici dai quali sono stati dedotti dei parametri indicatori che ci hanno permesso di ottenere la scelta migliore che bilanciasse tutte le esigenze di progetto.

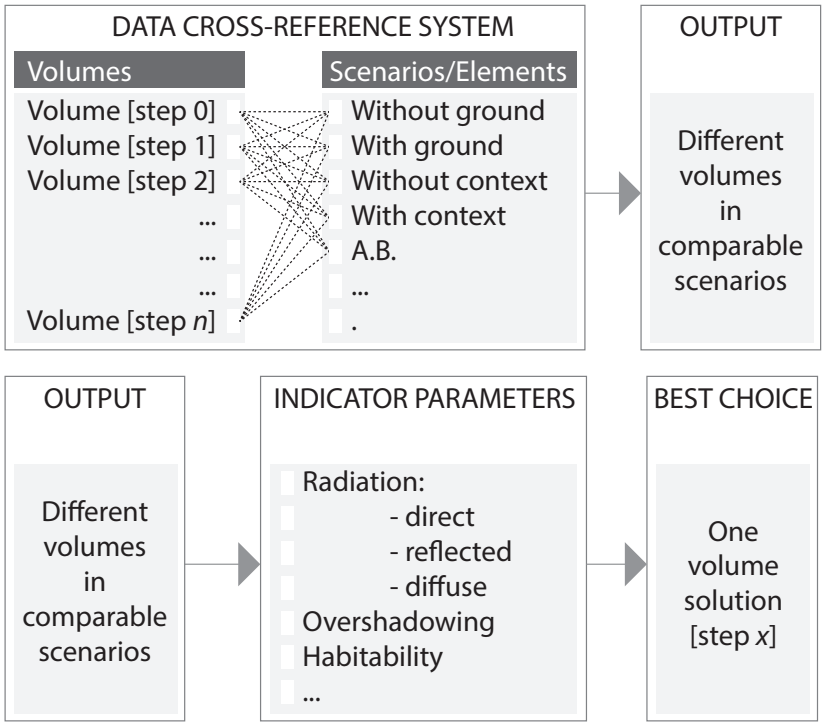


fig. 3.203 - *Data cross reference system*

A partire dal volume massimo edificabile proposto dagli standard urbanistici locali, è stata condotta un'analisi apportando delle modifiche sempre più significative alle superfici a disposizione e ottenendo i dati necessari alla valutazione finale sull'irradiazione diretta, indiretta e diffusa, e sulle ombre generate dagli edifici limitrofi per ricercare la volumetria che offrisse il maggior accesso solare.

Le numerose modifiche geometriche sono state impostate progressivamente grazie all'ausilio di un software vettoriale [*Rhinoceros-Robert McNeel Associates*] e uno parametrico [*Grasshopper-Robert McNeel Associates*]. Tutte queste trasformazioni sono state analizzate e infine confrontate tra di loro.

Come brevemente descritto, il processo di ottimizzazioen solare qui presentato è stato organizzato in due differenti ma consequenzialmente passaggi logici.

La prima parte di studio, ha previsto una stima dell'incremento dell'accesso solare dei diversi voluml via via modificati rispetto al volume di partenza. Per avere un confronto significativo tra i diversi modelli, abbiamo scelto di mantenere costante il volume in tutte le diverse trasfomrazioni [5,409 m^3] così come la quantità delle superfici esposte [2,340 m^2].

La seconda parte è invece concentrata sulla localizzazione delle aree maggiormente irradiate dell'edificio, adatte per l'installazione di un impianto di produzione energetica e per ridurre la richiesta energetica dell'intero edificio.

Pertanto gli obiettivi dell'approfondimento sono:

- migliorare l'accesso solare del nuovo edificio;
- mantenere o migliorare l'accesso solare degli edifici circostanti dopo l'inserimento del nuovo edificio;
- localizzare le aree migliori per l'installazione di un sistema di produzione solare.

3.4 TEORIA E METODOLOGIA

L'apporccio è partito dalla massima volumetria edificabile permessa dal regolamento cittadino, riducendo per prima cosa l'altezza interpiano da 3.80m a 3.50m così da modificare l'altezza totale di partenza da 19.20m a 18.00m. La trasformazione preliminare, concessa dal regolamento, permette così una riduzione del volume riscaldabile complessivo. Questo volume di partenza, denominato *Vol.A-ref*, è considerato come isolato e non inserito in nessun contesto urbano.

L'approfondimento è tuttavia impostato sul confronto, in differenti scenari di analisi, tra il *Vol.A* e il volume ottimizzato, chiamato *Vol.B*. L'analisi è cominciata definendo i parametri urbani e modificando la forma del volume rimandendo sempre entro i parametri urbanistici. Come già accennato, tutte le modifiche volumetriche sono state effettuate mentenendo costante la volumetria complessiva e il totale delle superfici esposte. Ogni trasformazione è stata applicata tenendo in considerazione

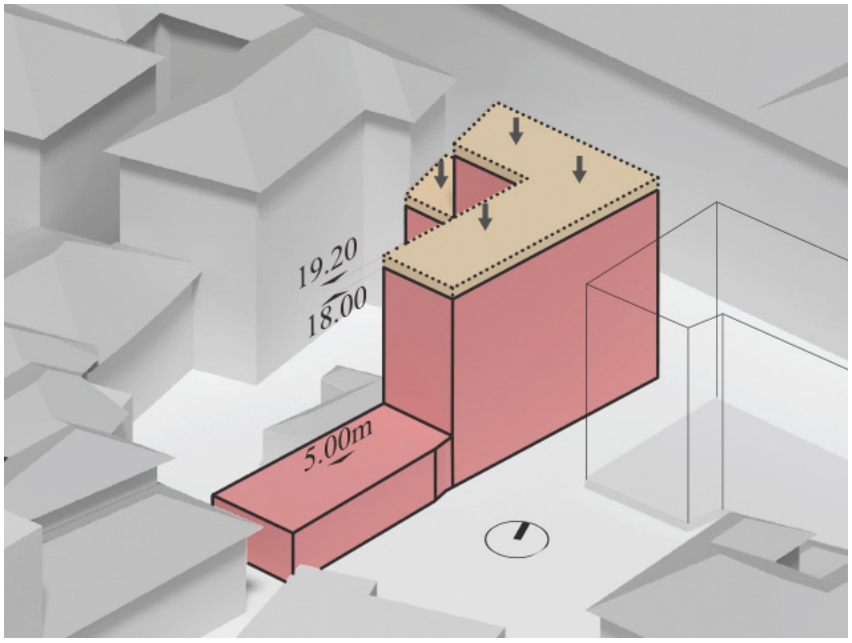


fig. 3.204 - *Volume di partenza ribassato per il contenimento energetico*

parametri quali l'orientamento e l'inclinazione delle facciate ma anche la vivibilità degli spazi interni. Inclinando sempre più le facciate infatti, si otterrebbe sicuramente un incremento di irradiazione su di esse (anche perchè l'ammontare finale della superficie disponibile aumenterebbe proporzionalmente alla sua progressiva inclinazione) ma ciò comporterebbe la definizione di spazi interni poco funzionali e quindi non vivibili. Le due immaigni in figura, sintetizzano le diverse caratteristiche considerate per migliorare l'esposizione solare delle superfici dell'involucro.

Nello specifico il processo di ottimizzazione solare consiste in un procedimento parametrico iterativo che, per ciascuna facciata, considera differenti inclinazioni e orientamenti sfruttando programmi di modellazione generativa, come Rhinoceros e Grasshopper; le analisi di radiazione solare annuale sono state invece condotte con l'ausilio di sofware di simulazione dinamica di illuminazione naturale come DaySim e Diva-for-Rhino considerando tutte le componenti di radiazione solare provenienti dal sole [α], dal cielo [β], riflesse dal contesto [λ] e dal suolo [μ].

In seguito alla modellazione volumetrica basata sul processo di ottimizzazione solare appena descritto, sono stati ottenute forme tute diverse ma con la stesa volumetria. I dati sull'irradiazione solare annuale sono stati filtrati con lo scopo di ottenere la forma milgiore con i valori più alti di irradiazione, limitando gli effetti di *overshadowing* da parte del contesto circostante.

La tabella seguente mostra i parametri finali utilizzati per tutte le simulazioni, preedentemente convalidate.

tab. 3.16 - *Impostazioni dei parametri "raytrace" utilizzati per tutte le simulazioni*

Ambient bounces	Ambient division	Ambient super-sample	Ambient resolution	Ambinet accuracy	Specular thresold	Direct sampling	Direct relays
3	1000	20	300	0,1	0,15	0,20	2

La tabella seguente invece riporta i parametri tipici dei materiali utilizzati per gli edifici del contesto circostante. Tutte le superfici esterne degli edifici sono state trattate con un colore medio, un rosa pallido, dedotto dai rilievi materici precedentemente effettuati sul distretto. Tutte le simulazioni sono state svolte con i dati climatici reperiti statisticamente nel corso degli anni da EnergyPlus per la città di Milano, nello specifico dalla stazione metereologica dell'aeroporto di Malpensa [latitudine 45.27° N, longitudine 9.11° E].

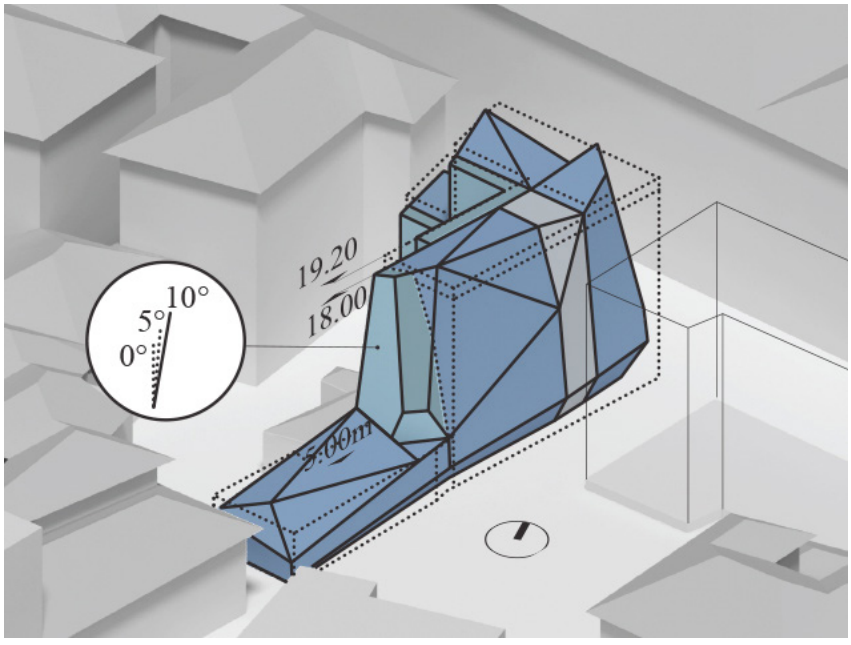


fig. 3.205 - *Volume ottimizzato secondo la radiazione solare*

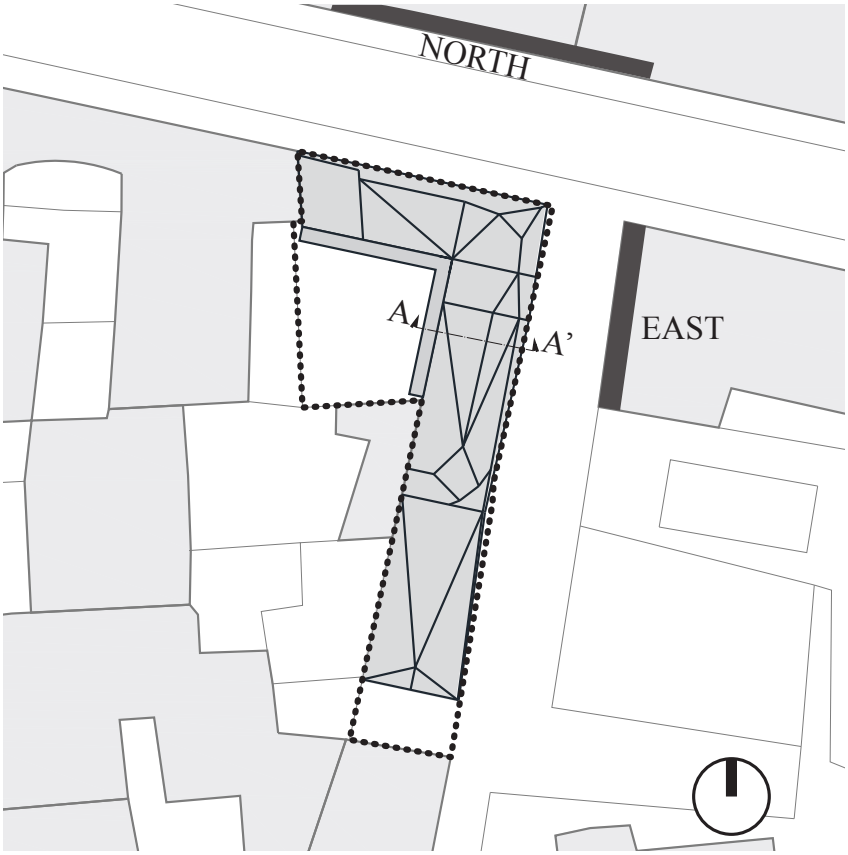


fig. 3.206 - *Inquadramento planimetrico del volume di progetto*

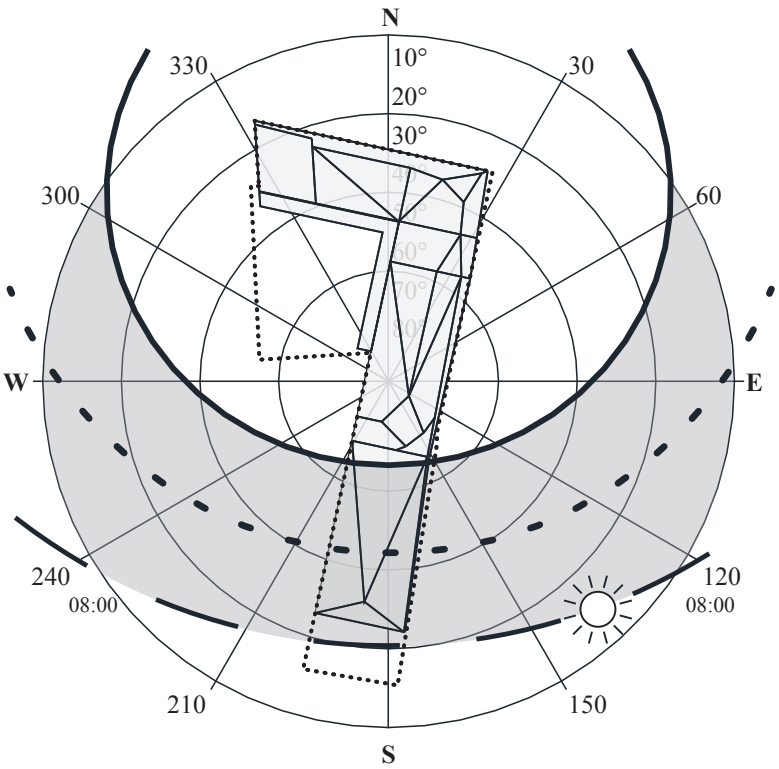


fig. 3.207 - *Percorso solare di riferimento*

tab. 3.17 - *Elenco parametri dei materiali impostati per il contesto*

Material	Radiance description	n° of values	R [refl.]	G [refl.]	B [refl.]	Specularity	Roughness
Concr. plaster	Void plastic	005	0,713	0,713	0,713	0,00	0,00

La somma di tutta la radiazione incidente sulle facciate dell'involucro dell'edificio è stata calcolata usando il software di calcolo energetico *DaySim*. DaySim è stato sviluppato dal *National Research Council of Canada* e dal *Fraunhofer Institute for Solar Energy System* in Germania. Forse il miglior software da usare per questo tipo di analisi. Con questo software, a differenza di programmi più noti quali Ecotect (che ha margini di errori fino al 10% e a volte di più), è stato dimostrato che si ottengono dei risultati più accurati e quindi più prossimi alla realtà.

In un approfondimento precedentemente sviluppato dall'Ing. Lobaccaro, questo programma è stato utilizzato e convalidato per un calcolo simile della radiazione solare sempre sull'involucro esterno ma per un altro edificio.

I calcoli sono stati condotti con i modelli *DDS* [dynamic daylight simulation], i quali consentono una stima della radiazione solare più accurata. L'analisi di una dettagliata mappa solare applicata all'edificio in esame, ha permesso di individuare progressivamente le aree maggiormente colpite dalla radiazione solare consentendo di stimare una zona dove successivamente poter installare un impianto di produzione energetica. Questa mappatura è stata condotta con *DIVA-for-Rhino*, un plug-in di Rhinoceros per la modellazione energetica e lo studio dell'illuminazione naturale.

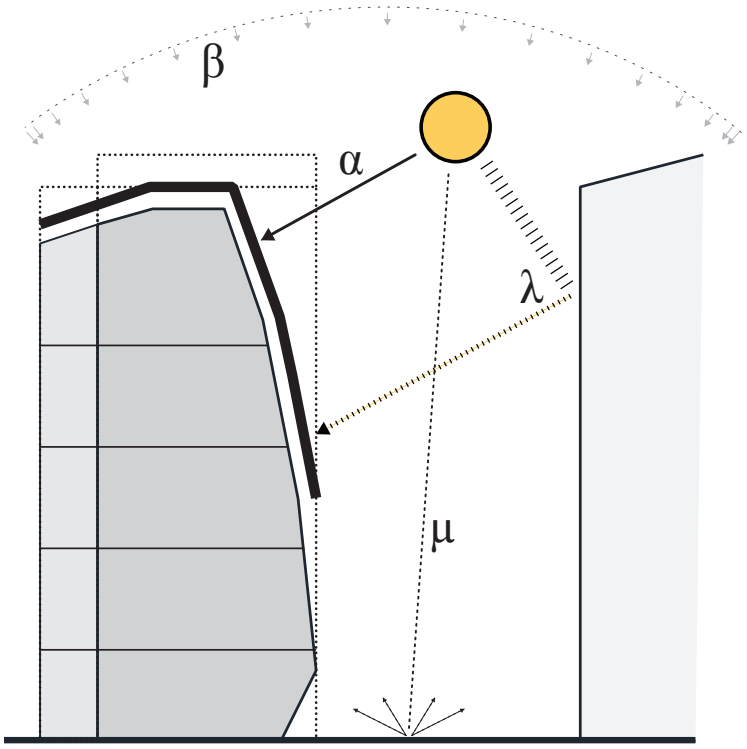


fig. 3.208 - *Analisi di tutte le componenti di radiazione solare: diretta, diffusa e riflessa*

3.5 DISCUSSIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI

Nella prima parte del processo di ottimizzazione solare, per quanto concerne il miglioramento dell'accesso solare delle superfici, sono state condotte due diverse tipologie di simulazioni:

- nelle prime, è stata calcolata la radiazione annuale totale sull'involucro dell'edificio in condizioni di *semplice edificio isolato*, così da poter definire la forma con la fisionomia più redditizia da un punto di vista energetico;
- nelle seconde, sono state considerate le diverse possibilità di forma *inserite nel contesto reale* del distretto di Brera così da poter stimare i reali effetti di *overshadowing* degli edifici limitrofi.

Ogni set di simulazione include due diversi scenari: nel primo, gli Ambient Bouncing (a.b.: rimbalzi di luce calcolati dal programma) sono settati a 3 e il riflesso del terreno (g.r.: ground reflection) è fissato pari a 0.0 così da poter stimare la sola componente riflessa offerta dal contesto.

Mentre nel secondo set, l'a.b. è fissato a 3.0 e il g.r. pari a o.15, così da poter ottenere anche il contributo della riflessione offerto dal terreno.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati principali con i differenti scenari: volume isolato senza contesto (*isolated scenario*) e volume inserito nel contesto (*context scenario*).

tab. 3.18 - *Scenario isolato: risultati dell'analisi solare.*

[R=radiazione solare totale incidente sull'involucro esterno dell'edificio; RA=radiazione solare media incidente sull'involucro esterno dell'edificio; ΔREF=percentuale di variazione della radiazione solare riferito al volume iniziale di riferimento (Vol.A-ref); ΔREL= percentuale di variazione della radiazione solare riferito al volume inserito nel relativo scenario analizzato ogni volta]

Shape	Ambient bouncing	Ground reflection	R [kWh/yr]	R_A [kWh/m²yr]	Δ_{REF} [%]	Δ_{REL} [%]
Vol.A-ref	3	0	1448946,67	620,53	-	-
Vol.B	3	0	1536555,12	652,70	6,0	6,0
Vol.A	3	0,15	1572936,63	673,63	8,6	-
Vol.B	3	0,15	1649919,11	700,85	13,9	4,9

tab. 3.19 - *Scenario inserito nel contesto: risultati dell'analisi solare. [Legenda: vedi sopra]*

Shape	Ambient bouncing	Ground reflection	R [kWh/yr]	R_A [kWh/m²yr]	Δ_{REF} [%]	Δ_{REL} [%]
Vol.A	3	0	1253231,71	536,71	-13,5	-
Vol.B	3	0	1366164,20	580,32	-5,7	9,0
Vol.A	3	0,15	1331002,54	570,01	-8,1	-
Vol.B	3	0,15	1440993,46	612,11	-0,5	8,3

I valori di irradiazione ottenuti dimostrano che l'ottimizzazione solare consente di incrementare la radiazione solare catturata dall'involucro dell'edificio fino a circa +14%.

Inoltre i guadagni dimostrano una riduzione a causa del terreno (-0.5%) quando l'edificio è inserito nello scenario con il contesto circostante.

Ed è anche importante sottolineare che il g.r. che interessa il *Vol.B* invece non fornisce l'incremento che ci si aspettava. L'ultima colonna delle due tabelle dimostra che la percentuale di scenario che considera il g.r. (a.b.=3; g.r.=0,15) è minore dello scenario precedente (a.b.=3; g.r.=0,00).

L'incremento della radiazione solare totale dato dalla componente del g.r. è più alevata considerando l'isolated scenario (1,1%) ed è minore nel Context scenario (0,7%). Questo è sicuramente causato dalla geometria che il volume ha lungo tutto il piano terra, inclinato per esigenze progettuali ed architettoniche, che impedisce così di ricevere il contributo di queste superfici.

Questa forma (visibile nella sezione in una delle immagini seguenti) è stata progettata per ridurre i guadagni solari estivi (di radiazione sia riflessa che diretta) nella mediateca

(locale pubblico con alti carichi interni).

Ecco una restituzione grafica dell'irraggiamento sulle superfici dei due volumi (iniziale e ottimizzato finale):

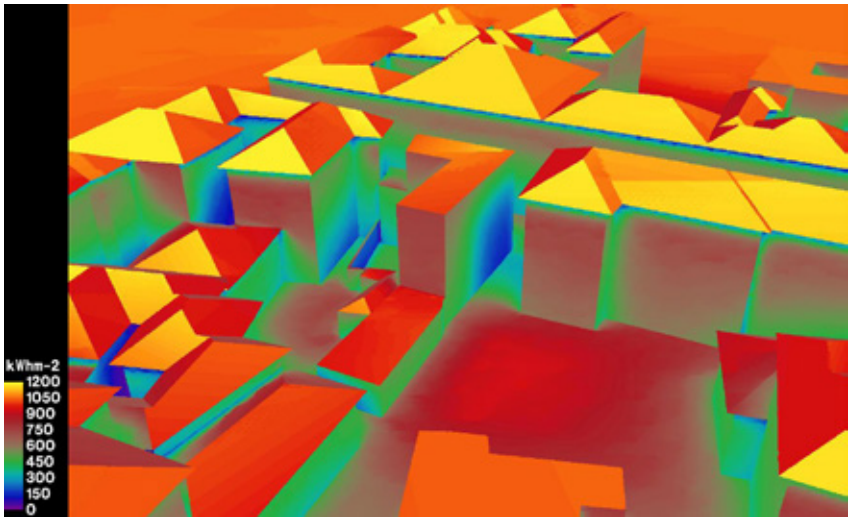


fig. 3.209 - *DIVA-for-RHINO per la restituzione dell'irraggiamento sulle superfici del volume di partenza*

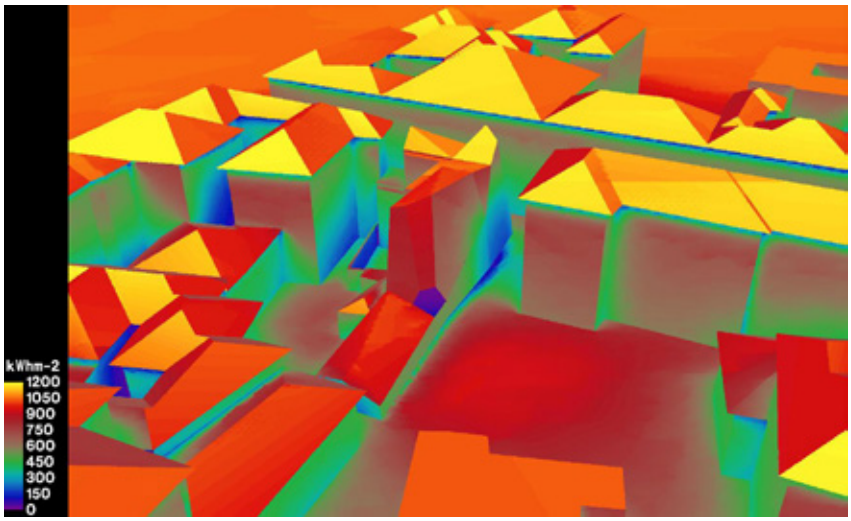


fig. 3.210 - *DIVA-for-RHINO per la restituzione dell'irraggiamento sulle superfici del volume ottimizzato*

Ulteriori analisi di accesso solare sono state condotte sul contesto per poter stimare se l'ammontare della radiazione solare sulle facciate degli edifici limitrofi rimanga la stessa oppure aumenti per merito della nuova forma dell'edificio.

3.5.1 INDIVIDUAZIONE DELLO 'SHELL' ENERGETICO

Considerando il Context scenario (a.b.=3; g.r.=0,15) e la presenza del Vol.B, le facciate nord ed est degli edifici più vicini, sono colpiti da un incremento della radiazione solare dell'8,2% per la facciat ad est e dello 0,7% per quanto riguarda la facciata a nord, comparate con lo stesso scenario ma col Vol.A.

L'obiettivo della seconda parte del processo di ottimizzazione solare era quello di localizzare le superfici meglio irraggiate dell'involucro; queste, come logica conseguenza, saranno le aree sulle quali installare i sistemi per produrre energia dal sole.

Di seguito riportiamo le principali modifiche volumetriche ottenute.

Il volume ottimizzato finale è stato modellato principalmete con le facciate nord ed

est inclinate di 6° orari rispetto alla direzione verticale iniziale. La facciate est inoltre è stata ruotata di circa 3° orari in pianta verso ovest.

A partire dal fronte sud originario del volume iniziale, la facciata è stata ruotata di 10° orari poichè risultava la miglior ottimizzazione tra guadagni solari e vivibilità interna degli appartamenti. Per questa superficie, la più esposta e quindi la più produttiva, sono state effettuate delle simulazioni in quattro diverse configurazioni: +3°, +6°, +9° e +12° orari. Sebbene quest'ultima fosse la più vantaggiosa in termini energetici, è stata scartata poiché non permetteva di progettare una porzione di serra vivibile dedicata all'ultimo piano. Ci siamo così fermati prima così da ottenere un ottimizzazioen tra guadagni e la possibilità di avere un piccolo ambiebte in più da riservare agli utenti del quarto piano.

Inoltre è stato introdotto un nuovo prospetto tagliando il volume per una miglior esposizione a favore di sole verso la direzione sud, "libera" dalla presenza di altri edifici attorno. Questa nuova superficie oltre ad essere inclinata di 6° orari rispetto alla direzione verticale è anche ruotato in pianta verso (quasi) il sud esatto.

Il *guscio solare*, rappresentato in figura, composto dal 27% della superficie complessiva è in grado di raccogliere così fino al 45% di tutta la radiazione incidente sull'involucro edilizio, così come dimostrato dalla simulazione nel context scenario [a.b.=3 ;g.r.= 0,15].

Per poter ottimizzare al meglio la resa dei pannelli solari, abbiamo scelto una configurazione del guscio solare a filo con la struttura in vista, caratteristica fondamentale dell'edificio. In questo modo non ci saranno problemi di ombre portate sui pannelli stessi che abbatterebbero la loro resa finale.

3.6 LE CONCLUSIONI ED I POSSIBILI SVILUPPI

I risultati ottenuti confermano che un nuovo approccio progettuale basato sul guadagno solare di un edificio inserito in un contesto urbanizzato può significativamente contribuire alla definizione del suo volume di progetto e alla produzione sul sito di energie rinnovabili.

Questo processo permette di concetrare la captazione dell'energia del sole sulle aree più esposte migliorando la resa dei sistemi impiantistici grazie alla sola inclinazione delle superfici.

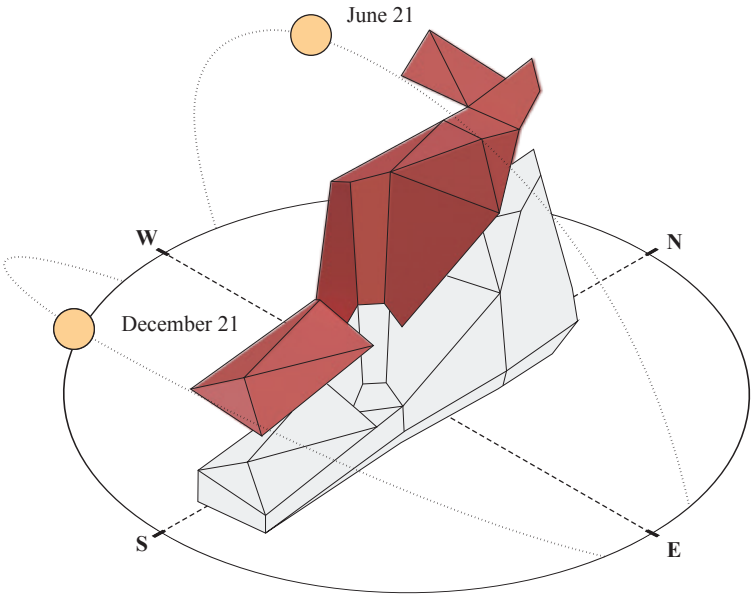


fig. 3.211 - *Shell energetico su cui è massima la radiazione solare*

Abbiamo inoltre dimostrato la reale efficienza di questo processo quando applicato a casi inseriti in un contesto densamente abitato. Infatti, i dati dimostrano che sebbene le differenze di irraggiamento per i due modelli di riferimento isolati non si discostano di molto, la forbice dei guadagni cresce notevolmente quando gli scenari vengono analizzati in presenza del contesto circostante. L'overshadowing degli edifici limitrofi incide notevolmente sui guadagni poichè ostacola la radiazione luminosa. E proprio a questo punto che la nuova configurazione volumetrica garantisce un maggior apporto solare poichè meglio orientato.

Ulteriori studi sarebbero necessari per comprendere le reali conseguenze dei volumi complessi che derivano da questo tipo di processo di ottimizzazione in termini di costruzione (eventuale pannellatura continua ed ottimizzata di facciata) e i carichi di raffrescamento (che forse aumenteranno a causa della temperatura superficiale dell'ampia superficie coperta coi pannelli solari). Infatti è facile immaginare come un ampio uso di impianti fotovoltaici, solari termici o tubi sottovuoto possano generare un mocroclima più caldo attorno ad essi che potrebbe avere delle conseguenze. Un sistema di ventilazione, una doppia camera o sistemi di raffrescmento integrati nel sistame fotovoltaico o solare termico potrebbero essere delle future strade percorribili da approfondire.

STARTING ISOLATED BUIDING

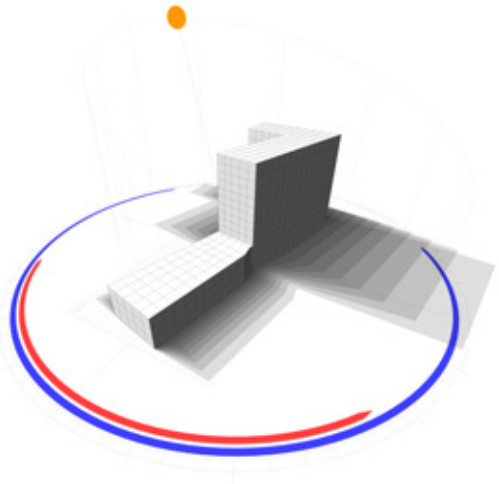
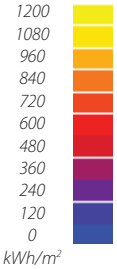


fig. 3.212 - *Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio d'estate]*



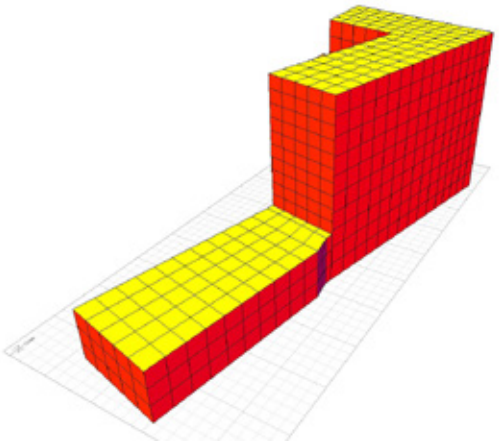
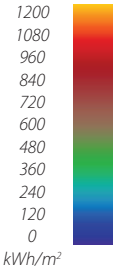


fig. 3.213 - *Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare*



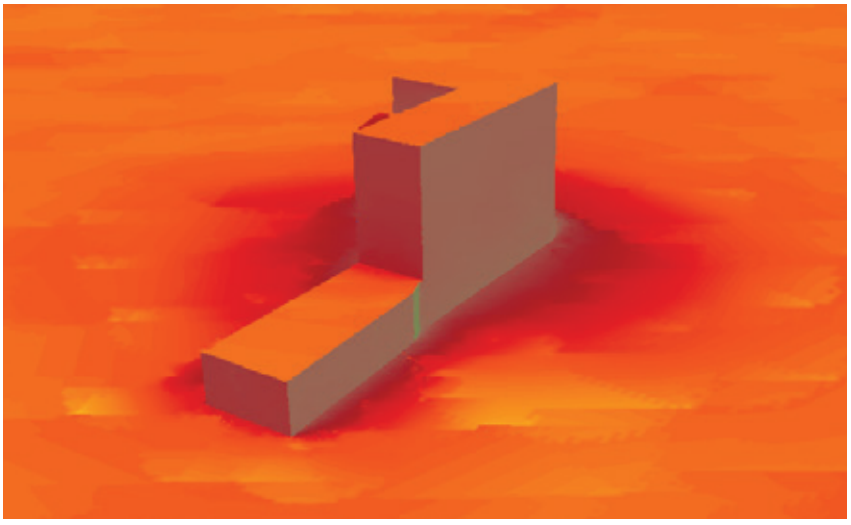


fig. 3.214 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale.*

OPTIMIZED ISOLATED BUILDING

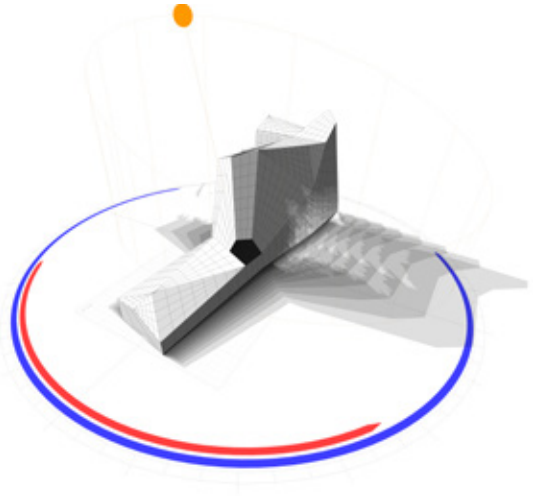


fig. 3.215 - *Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio d'estate]*

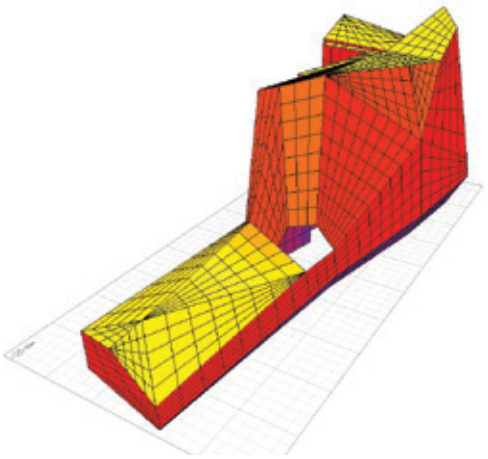


fig. 3.216 - *Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare*

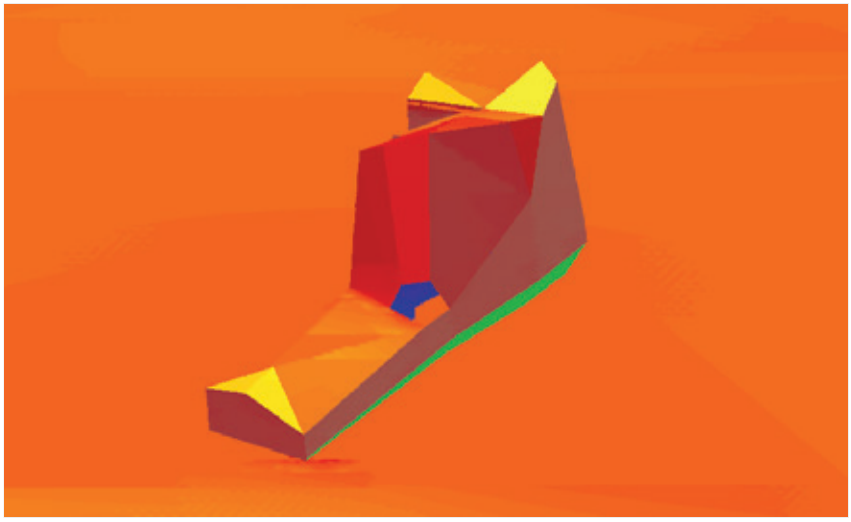


fig. 3.217 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale.*

STARTING BUILDING IN THE CONTEXT

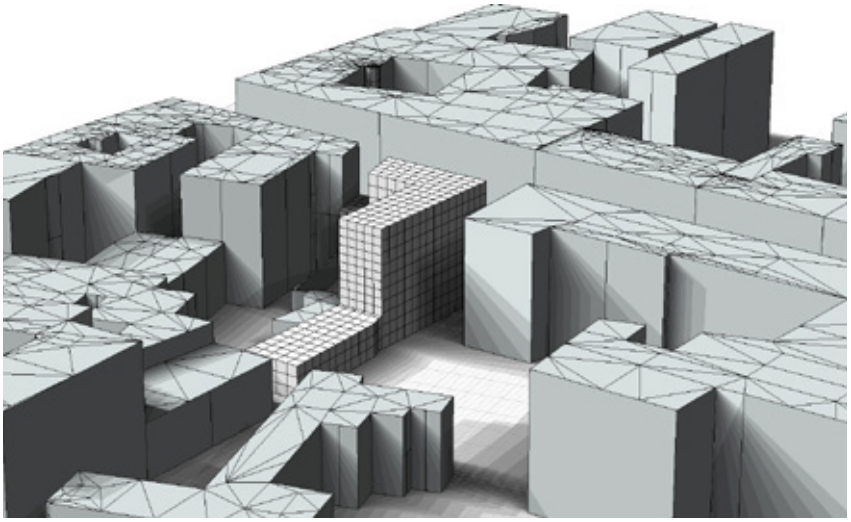


fig. 3.218 - *Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio di primavera]*

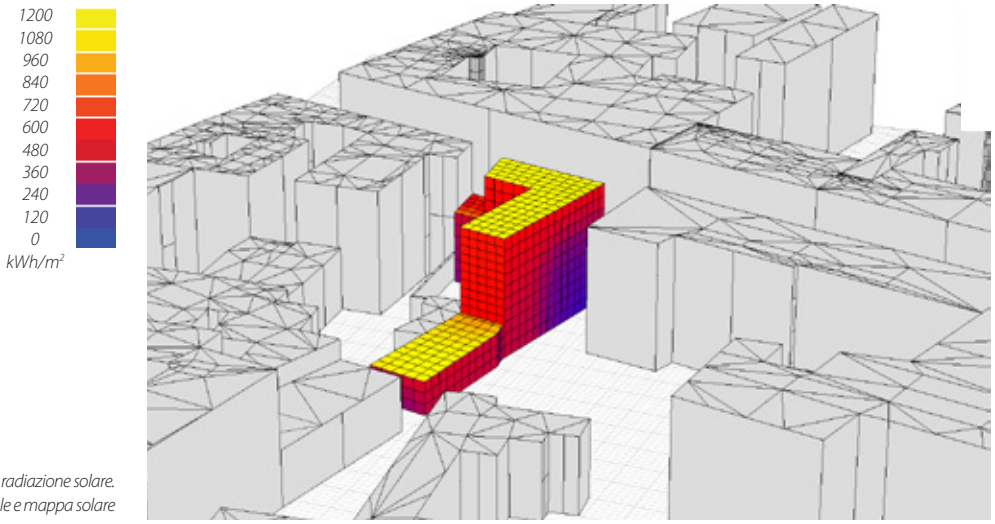


fig. 3.219 - *Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare*

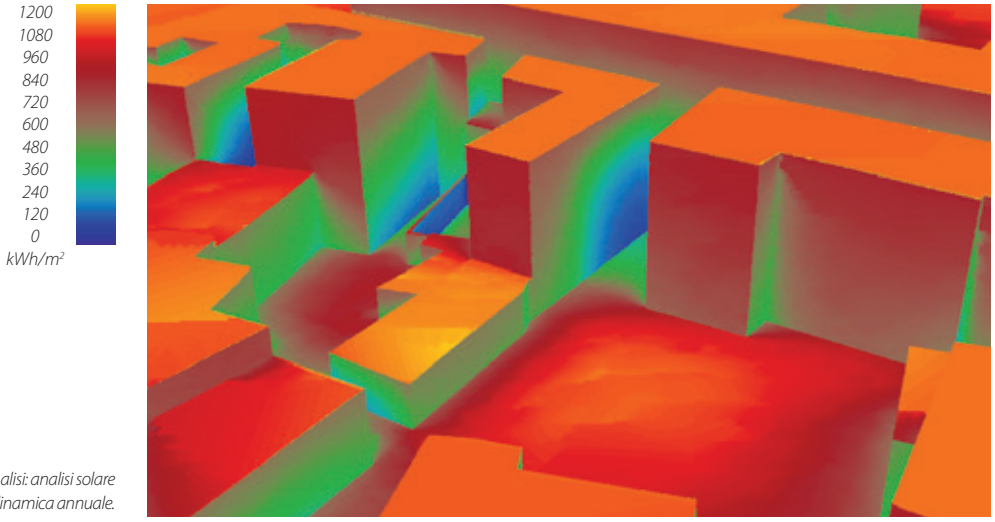


fig. 3.220 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale.*

OPTIMIZED BUILDING IN THE CONTEXT

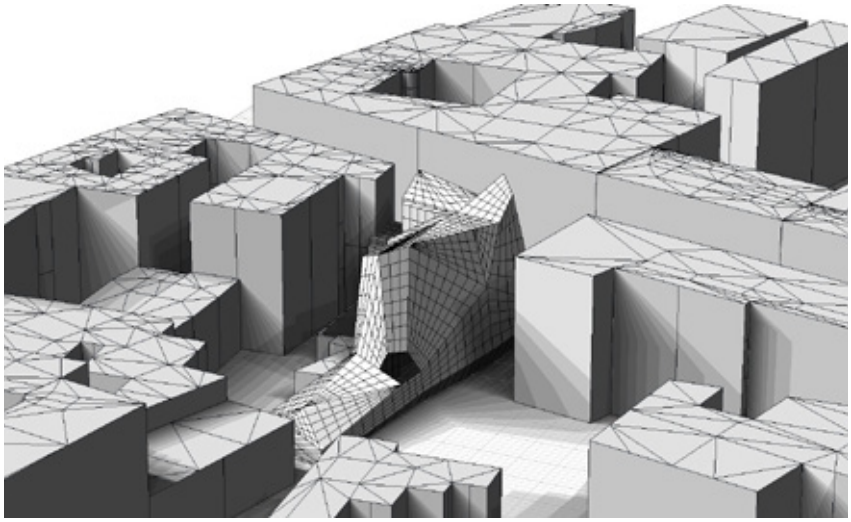


fig. 3.221 - *Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio di primavera]*

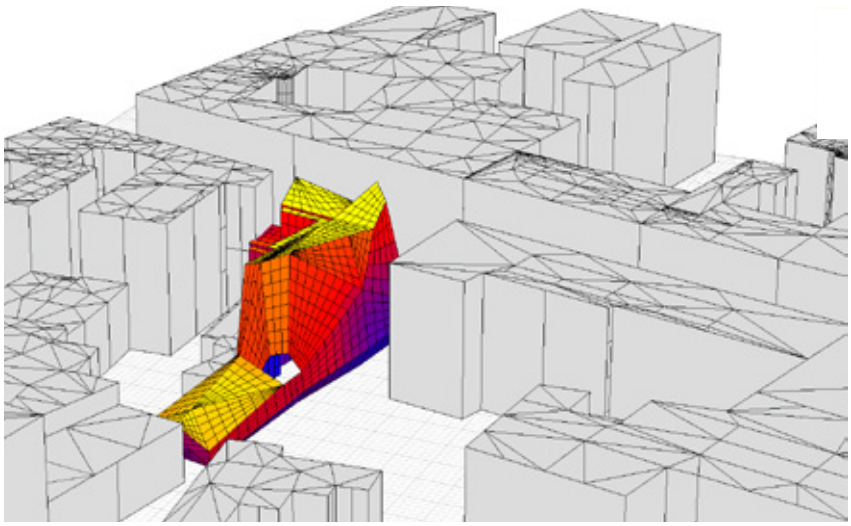


fig. 3.222 - *Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare*

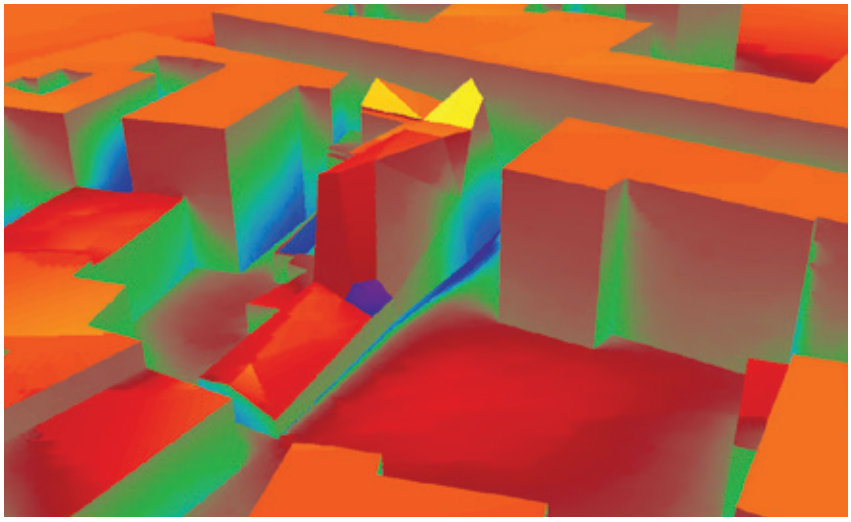
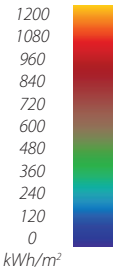


fig. 3.223 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale.*

SOLAR ACTIVE SHELL: DEFINITION



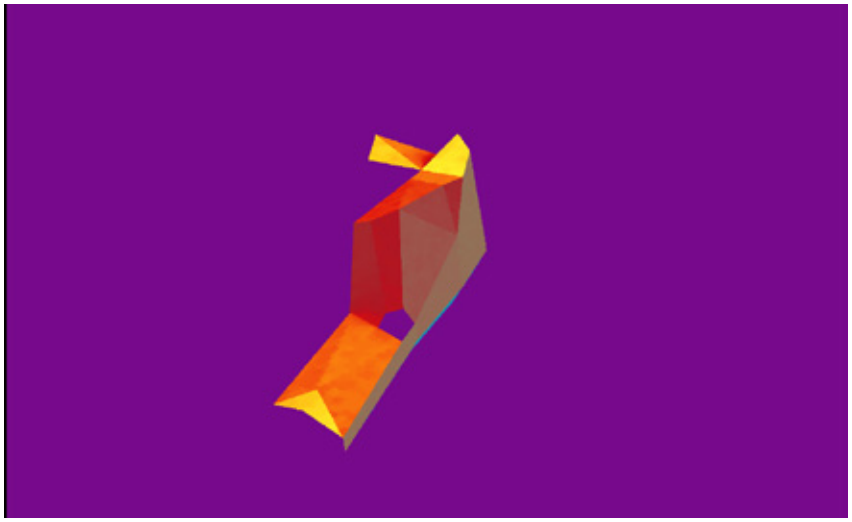
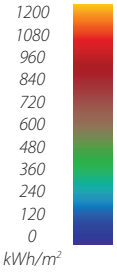


fig. 3.224 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale senza il terreno [e la sua riflessione].*



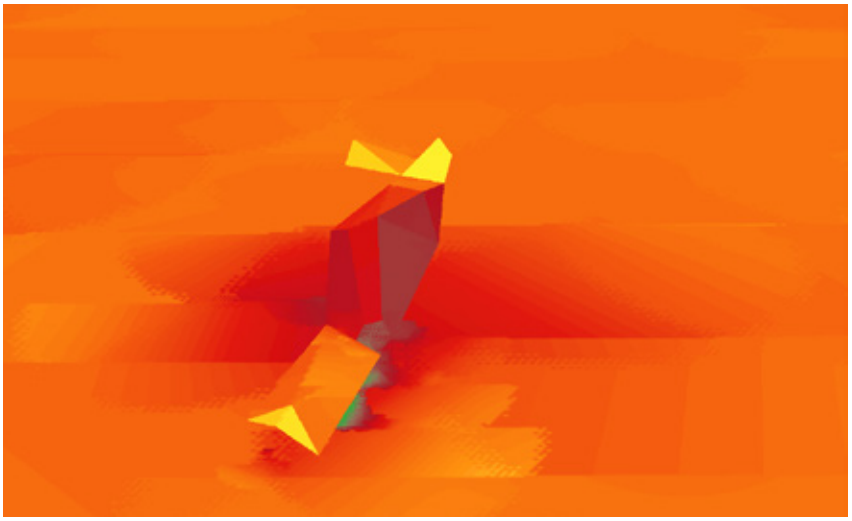
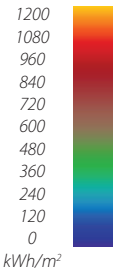


fig. 3.225 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale con il terreno [e la sua riflessione].*



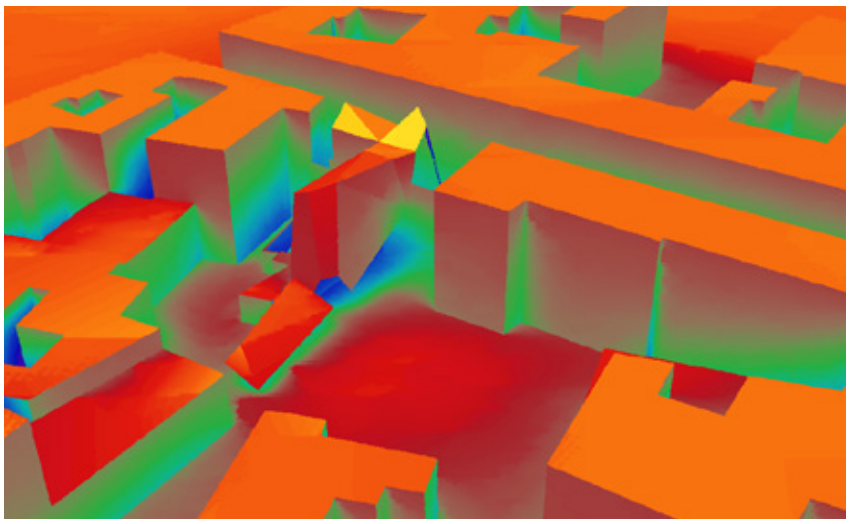


fig. 3.226 - *DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale con il terreno [e la sua riflessione].*

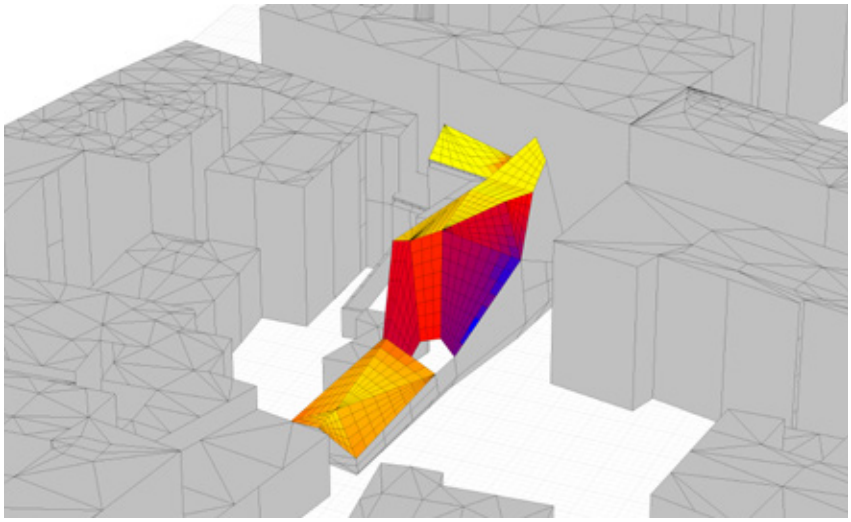


fig. 3.227 - *Ecotect: solar irradiation for annual analysis solar maps of the Solar Active Shell*

Solar Active Shell

Lo "shell solare" costituito dal 27% della superficie complessiva è in grado di raccogliere più del 45% della radiazione incidente complessiva dullo sviluppo dell'edificio in esame, così come stimato e dimostrato dalla simulazione sullo scenario inserito nel contesto (ab=3, gr.refl.=0.15).

I risultati confermano che un nuovo approccio progettuale legato all'ottimizzazione e all'accesso solare possono contribuire significativamente alla definizione del volume di progetto e alla produzione di energia rinnovabile in situ.

Ulteriori studi si rendono necessari per comprendere le conseguenze che potrebbero derivare da questa forma complessa sia in termini di costruzione ()paneling delle superfici) e di carichi di raffrescamento (a causa dell'aumento di temperatura nella parte retrostante i pannelli fotovoltaici).

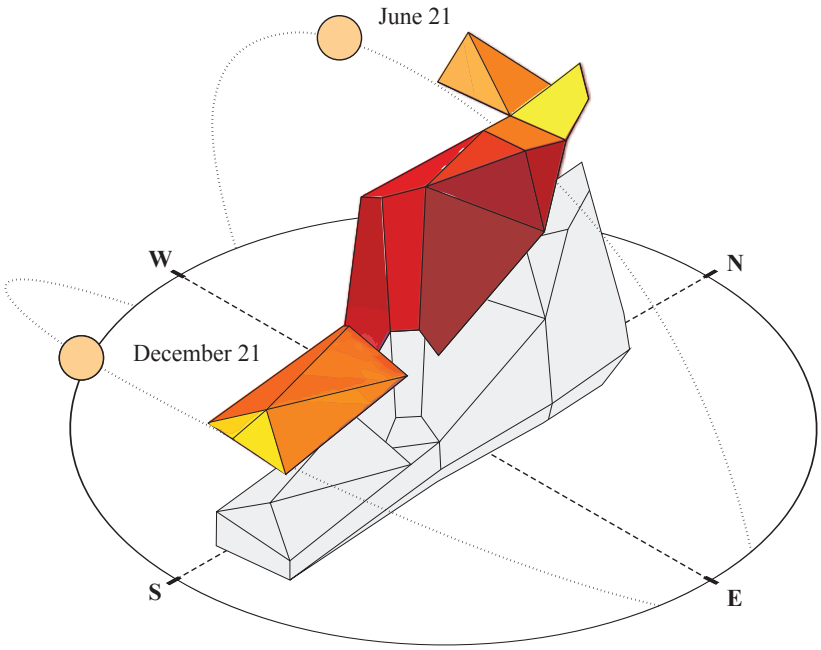


fig. 3.228 - *Shell energetico su cui è massima la radiazione solare*

3.7 ANALISI

3.7.1 IL SOLE

L'energia solare è una delle fonti di energia primarie. Non è esauribile, poichè la vita del sole è stimata in circa 5 miliardi di anni, ma soprattutto: non inquina.

Il sole è una stella ed è sede di reazioni termonucleari a catena. Nella reazione di fusione, durante la quale l'idrogeno si combina per formare elio, avviene nel nucleo una conversione di massa in energia. Nel nucleo incandescente si produce così una temperatura stimata tra 16 e 40 milioni di gradi; attraverso una serie di processi radiativi e convettivi avviene il trasferimento del calore alla superficie dove avviene l'irraggiamento verso lo spazio. La temperatura della superficie si porta allora ad un valore di circa 5780 K, tale da fare insorgere un equilibrio tra l'energia che la superficie stessa riceve dal nucleo e quella che emette verso gli spazi siderali.

Il sole si comporta allora come un corpo nero che, alla temperatura di 5780 K, irradia energia nello spazio. Quasi il 99% della radiazione solare ha lunghezza d'onda compresa tra 0,15 e 4 μm e il massimo di intensità si ha a circa 0,5 μm; la parte compresa tra 0,4 e 0,74 μm occupa la zona visibile dello spettro mentre a sinistra ed a destra di tale fascia si trovano rispettivamente le zone dell'ultravioletto e dell'infrarosso.

La quantità media di energia solare che incide ortogonalmente, nell'unità di tempo, su una superficie unitaria posta al di fuori dell'atmosfera, prende il nome di costante solare ed assume il valore medio di 1353 W/m^2.

L'intensità dell'irraggiamento solare si attenua nel passaggio attraverso l'atmosfera: una parte di radiazione viene riflessa verso lo spazio, una parte è diffusa in tutte le direzioni dalle molecole dei gas atmosferici e dal vapore acqueo, una parte viene assorbita dalle molecole dell'atmosfera e da queste riemessa come radiazione infrarossa.

L'assorbimento e la diffusione atmosferica hanno l'effetto di ridurre l'intensità della radiazione su tutte le lunghezze d'onda; un'ulteriore riduzione si ha poi in corrispondenza alle lunghezze d'onda caratteristiche dei diversi gas e vapori presenti nell'atmosfera.

La parte di irraggiamento che raggiunge direttamente il suolo costituisce la radiazione diretta mentre la parte rimanente costituisce la radiazione diffusa. A queste va infine aggiunta la radiazione riflessa o albedo, che rappresenta la percentuale di radiazione diretta e diffusa che viene riflessa dal suolo o dalle superfici circostanti sulla superficie considerata.

La radiazione diretta, preponderante rispetto alla diffusa in condizioni di cielo sereno, tende a ridursi all'aumentare dell'umidità e della nuvolosità presente nell'aria, fino ad annullarsi in condizioni di cielo completamente coperto.

L'ammontare dell'energia emessa al di fuori dell'atmosfera abbiamo detto essere definita dalla costante solare C. Si definisce costante solare la quantità di energia che viene captata nello spazio fuori dall'atmosfera da una superficie di un metro quadrato, in un secondo, alla distanza media della Terra dal Sole (C = 1.367 Watt/m^2). L'energia associata all'enorme flusso di radiazioni emesso dal sole e catturato dal nostro pianeta è all'origine della vita e ne permette il perpetuarsi. Quasi tutte le forme di energia infatti traggono origine direttamente o indirettamente dal sole.

La potenzia irradiata complessivamente dal sole è pari ad oltre 60.000 kW per metro quadrato.

La potenza disponibile decresce via via che aumenta la distanza dal sole, e dopo aver percorso i circa 150 milioni di km che separano la terra dal sole assume un valore molto più ridotto, di poco superiore ad 1.35 kW/m^2.

Sulla superficie terrestre si registra un valore della potenza inferiore rispetto alla costante solare, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nel percorso attraverso l'atmosfera. Sia nelle normative di riferimento che nella pratica

impiantistica, il valore massimo della radiazione disponibile istantaneamente al suolo si assume pari a circa 1 kW/m^2.

L'intensità della radiazione solare viene misurata tramite due grandezze fisiche:

- insolazione: energia media giornaliera (kWh/m^{2}giorno);
- irraggiamento: potenza istantanea su superficie orizzontale (kW/m^2)

E' possibile suddividere la radiazione solare in diverse componenti:

- radiazione globale;
- radiazione diffusa;
- radiazione diretta;
- radiazione riflessa;
- radiazione netta.

La radiazione globale viene definita come la somma della radiazione misurata a terra su un piano orizzontale proveniente direttamente dal Sole e quella diffusa dal cielo (atmosfera). I rapporti tra le due componenti sono in relazione alle condizioni atmosferiche. Lo spettro di lunghezze d'onda interessato è compreso tra 0.3 e 3 mm. La maggior parte degli strumenti impiegati per la misura della radiazione solare misura questo parametro. La radiazione globale deve essere sempre inferiore a quella massima teorica calcolata al di fuori dell'atmosfera ma può essere, al limite, uguale ai valori massimi teorici calcolati tenendo conto dell'atmosfera.

- la radiazione diffusa è la componente, misurata su un piano orizzontale, della radiazione solare che arriva a terra non direttamente dal sole ma per effetto dell'atmosfera (gas, nubi, ecc.); lo spettro di lunghezze d'onda interessato è compreso tra 0,3 e 3 mm. Lo strumento impiegato per la misura è un solarimetro con un dispositivo che mantiene in "ombra" l'elemento sensibile rispetto alla luce proveniente direttamente dal Sole.
- la radiazione diretta è la radiazione proveniente solo direttamente dal Sole tra 0,3 e 3 mm. Lo strumento (il "pireliometro") misura solo ciò che arriva dal disco del Sole.
- la radiazione riflessa è la radiazione solare riflessa da una superficie entro la banda 0,3 - 3 mm. Il rapporto tra la radiazione riflessa e la radiazione globale dà l'albedo. Lo strumento di misura viene posto orizzontale ma rivolto verso il basso.
- la radiazione netta è la differenza tra la radiazione proveniente dal cielo e quella in arrivo dalla superficie in esame nella banda 0.3 – 60 mm. Lo strumento per la misura è costituito da due radiometri: uno rivolto verso l'alto e uno verso il basso.

Se chiamiamo I_D la radiazione diretta, I_S quella diffusa ed R l'albedo, allora si ha che la radiazione solare totale che incide su una superficie è:

$$I_{TOT} = I_D + I_S + R$$

3.7.2 DEFINIZIONE DEL VOLUME DI COMPARAZIONE

Per poter comparare i risultati nei diversi scenari abbiamo deciso che ogni modifica alle superfici, che avrebbe sottratto parte del volume edificabile disponibile, avrebbe dovuto comportare un aumento di volume da un'altra parte del progetto. In questo modo la volumetria complessiva rimane sempre la stessa.

Inoltre fin da subito abbiamo deciso di abbassare le altrezze interpiano proposte dal Comune di Milano da un'alteza di 3,80 m a 3,50 m per ottenere un volume riscaldabile minore (già di per se un guadagno).

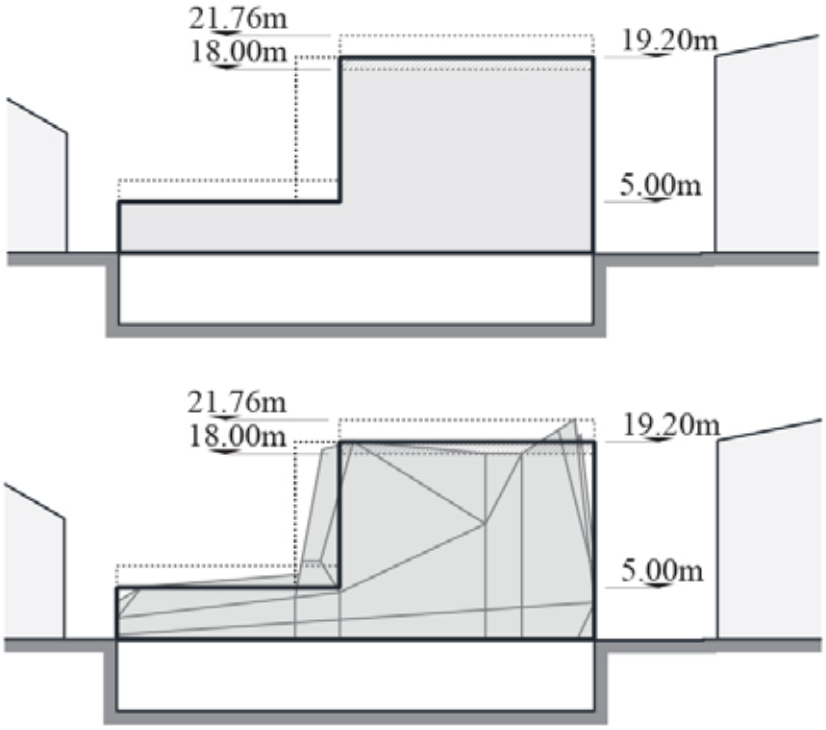


fig. 3.229 - *Quote altimetriche di riferimento dei due volumi comparati*

L'aumento di volume in questione doveva ovviamente essere permesso dagli standard urbanistici della città di Milano. Procedendo con lo studio iterativo dell'inclinazione delle facciate fino alla configurazione finale scelta, abbiamo sottratto una porzione di volume pari a circa 900 m^3 che abbiamo scelto di recuperare progettando delle serre esterne ad uso esclusivo delle residenze. Le serre sono state aggiunte in due parti precise: a sud [circa 200 m^3], area maggiormente esposta ai raggi solari, e nella corte interna [circa 700 m^3], per poter offrire un ambiente buffer ai residenti nella parte rivolta all'interno. Per comodità e per chiarezza divulgativa, abbiamo suddiviso il volume in quattro parti ben distinte come mostrato in figura.

tab. 3.20 - *Volumi complessivi divisi per tipo.*

	Vol t_0 [m^3]	Vol t_1 [m^3]	$\Delta(Vt_0-Vt_1)$ [m^3]	%	Vol t_2 [m^3]	$\Delta(Vt_1-Vt_2)$ [m^3]	%	Solar orientation
Apt.1	2011,8	1890	121,8	-6,05	1642,72	247,28	-13,1	N-S
Apt.2	2933,3	2621,51	311,79	-10,6	2229,52	391,99	-14,95	E-W
Stairs	897,52	897,52	0	0	638,57	258,95	-28,9	E
Tail	510,38	480,73	029,65	-5,81	480,73	0	0	E-W

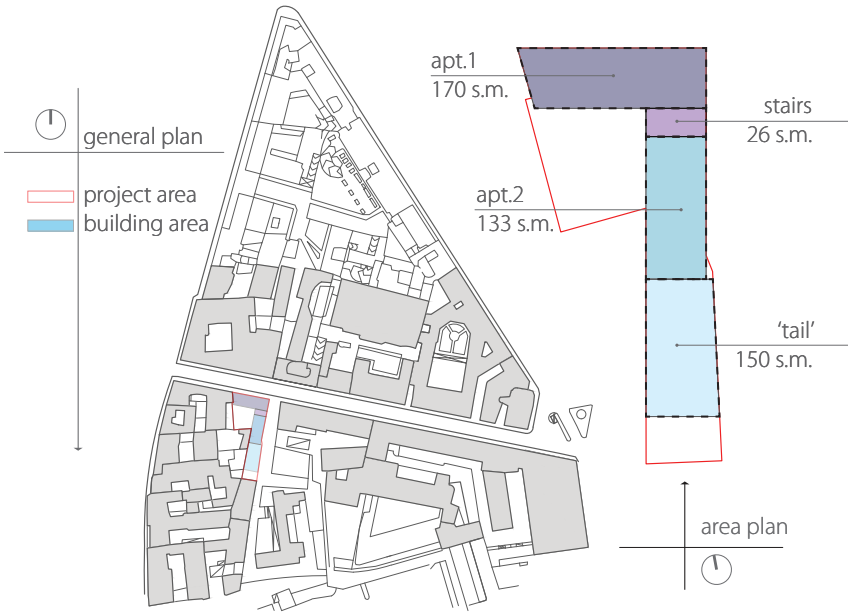


fig. 3.230 - *Planimetria di progetto e dati generali delle superfici in pianta disponibili*

tab. 3.21 - *Analisi e confronto tra i volumi iniziale ed ottimizzato .*

	[m³]
Vol.TOT t_0	6353,00
Vol.TOT t_1	5889,56
Vol.TOT t_2	4991,54

tab. 3.22 - *Volumi a cui è stato sottratto il vano scale, considerato vano tecnico.*

	[m³]
Vol.TOT t_0	5842,62
Vol.TOT t_1	5409,03
Vol.TOT t_2	4510,81

tab. 3.23 - *Volume sottratto e recuperabile.*

	[m³]
Vol(V_0-V_2)	1331,81
Vol.(V_1-V_2)	898,22

tab. 3.24 - *Suddivisione del volume da recuperare nelle due serre.*

	[m³]
Serra Apt.Sud	193,57
Serra Apt.Corte	705
	[m]
NB: Profondità media della serra nella corte interna:	1,58

3.7.3 IL MODELLO PARAMETRICO

Rhinoceros

Per poter utilizzare i software di calcolo energetico e illuminazione naturale è stato necessario elaborare un modello parametrico del volume in esame con *Rhinoeros, software della casa produttrice Robert McNeel & Associates®*. Infatti questo è l'unico modo per poter interscambiare lo stesso disegno con i diversi programmi.

3.7.4 STUDI PRELIMINARI

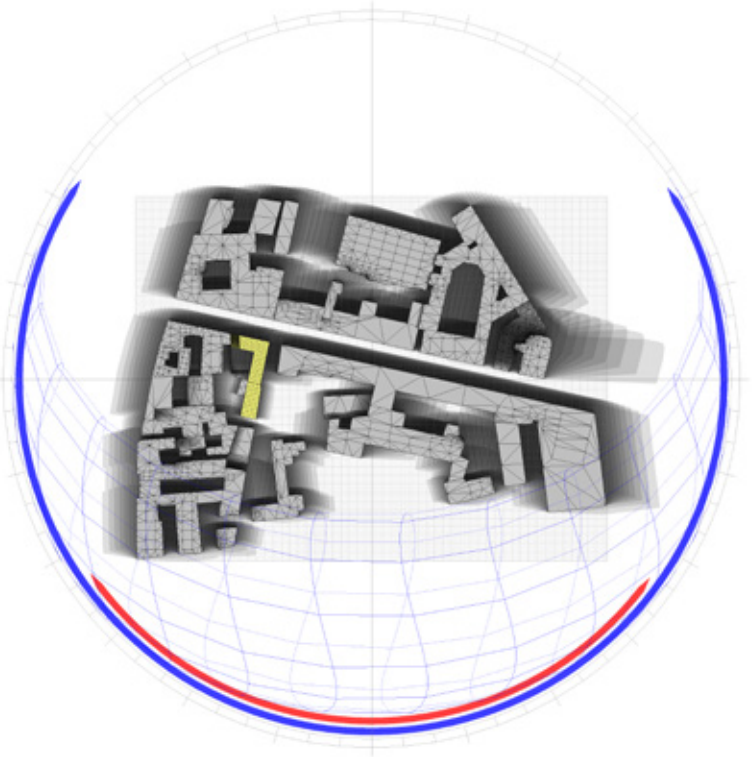


fig. 3.231 - *Percorso solare di riferimento dell'area di progetto e del contesto*

Ecotect

I primi studi sono stati condotti con l'ausilio di un software per la progettazione architettonica sostenibile: *Autodesk Ecotect Analysis®*. In particolare ci siamo focalizzati sulle funzioni di:

- *irraggiamento solare*: visualizzazione dell'irraggiamento solare incidente sulle superfici, in qualunque periodo dell'anno;
- *ombre e riflessioni*: visualizzazione della posizione e del percorso del sole relativi al modello per qualsiasi data, orario e ubicazione.

Sono maturate così le prime impressioni sulla reale situazione di progetto da cui sono scaturiti i primi ragionamenti progettuali.

Sono successivamente state affettuate le analisi più approfondite dopo aver ottenuto i volumi rappresentativi per la comparazione dei risultati.

Nello specifico abbiamo eseguito le seguenti analisi annuali per le diverse configurazioni dei diversi scenari:

- edificio isolato:
  - senza suolo;

    - con suolo;
- edificio inserito nel contesto:
    - senza suolo;
    - con suolo;
- shell solare inserito nel contesto;
- facciata ovest dell'edificio a est (via secondaria):
    - con edificio iniziale;
    - con edificio ottimizzato;
- facciata sud dell'edificio a nord (via Palermo):
    - con edificio iniziale;
    - con edificio ottimizzato;
- urban daylight ground:
    - isolato;
    - con contesto senza edificio di progetto;
    - con contesto con edificio di progetto.

Per ognuno degli scenari sopra elencati sono stati settati dei parametri di riferimento per le simulazioni. Questi i principali:

- insolation levels;
- incident solar radiation:
- calcultate total, direct and diffuse solar radiation falling on object;
- for specified period:
    - date range: from 1th January to 31th December;
    - time range: from 6 a.m. to 6 p.m.;
- cumulative value: calculate the total sum of all values in each metric, over the choosen calculation period;
    - object in model: only use selected object;
    - use exsisting shading tables;
- analysis:
    - solar exposure:
    - total monthly:

3.7.5 IL PROCESSO DI MODELING

Grasshopper

Grasshopper® Generative Modelling for Rhino è un editor di algoritmi grafici perfettamente integrato con l'interfaccia per la modellazione tridimensionale di Rhinoceros.

Permette ai progettisti di creare delle *generative form* dalle più semplici fino a quelle più complesse attraverso dei semplici comandi che restituiscono graficamente delle azioni sempre modificabili poichè tutte parametriche.

L'utilizzo di questo software si è reso necessario per sopperire ai limiti di modellazione di Ecotect. L'eccessiva imprecisione di cui è caratterizzato avrebbe restituito dei valori poco attendibili al termine delle nostre simulazioni.

Sfruttando questo programma, è stato possibile individuare esattemanete le aree di interesse per le noste simulazioni potendo inoltre impostare anche, su ognuna di esse, una griglia di sensori utili alla raccolta dei dati.

Partendo da un modello vettoriale composto da superfici complanari, abbiamo parametrizzato ogni parte dell'edificio ottenendo il seguente modello.

Modificando le superfici vettorializzate, automaticamente ora si modificano le superifci parametrizzate legate ad esse e di conseguenza la griglia di sensori.

Abbiamo così, al termine di tutte le simulazioni, ottenuto ileguente modello

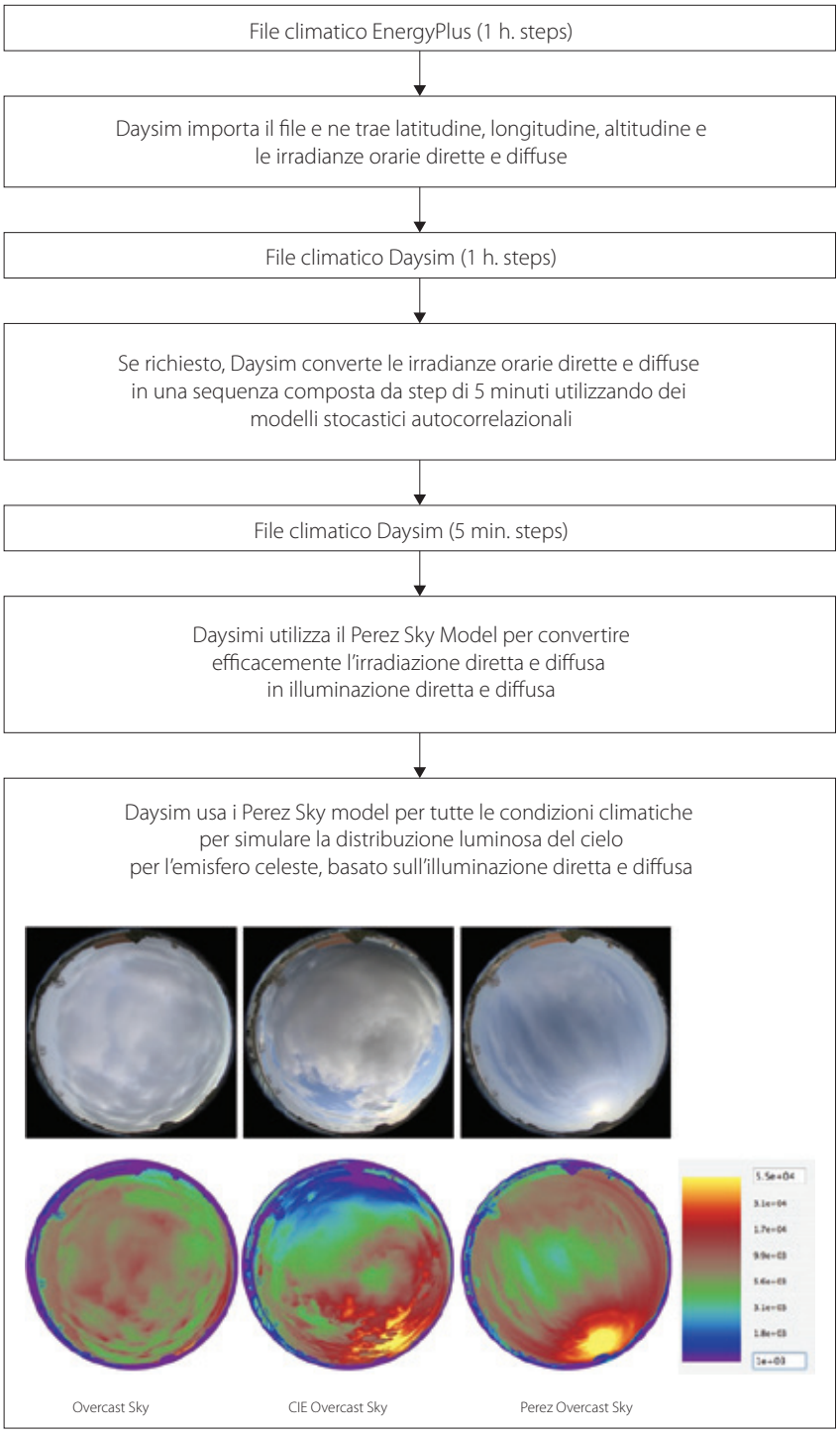


fig. 3.232 - *Schema dei passaggi logici e degli algoritmi utilizzati da Daysim*

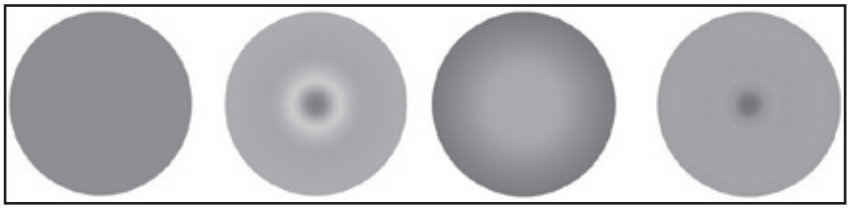


fig. 3.233 - *Schematizzazione dei modelli Perez per i diversi scenari di cielo*

ottimizzato pronto per essere analizzato nel dettaglio.

Come precedentemente accennato, le simulazioni non si sono limitate solo al nostro edificio. Queste intendevano anche analizzare l'effettivo impatto che avrebbe avuto il nuovo progetto sugli edifici circostanti in termini di illuminazione naturale

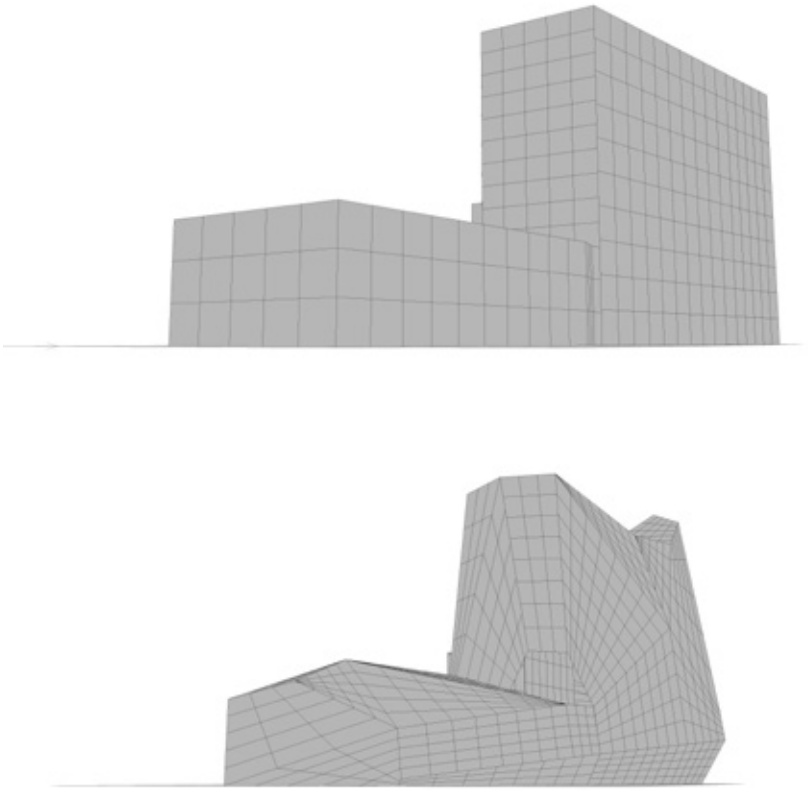


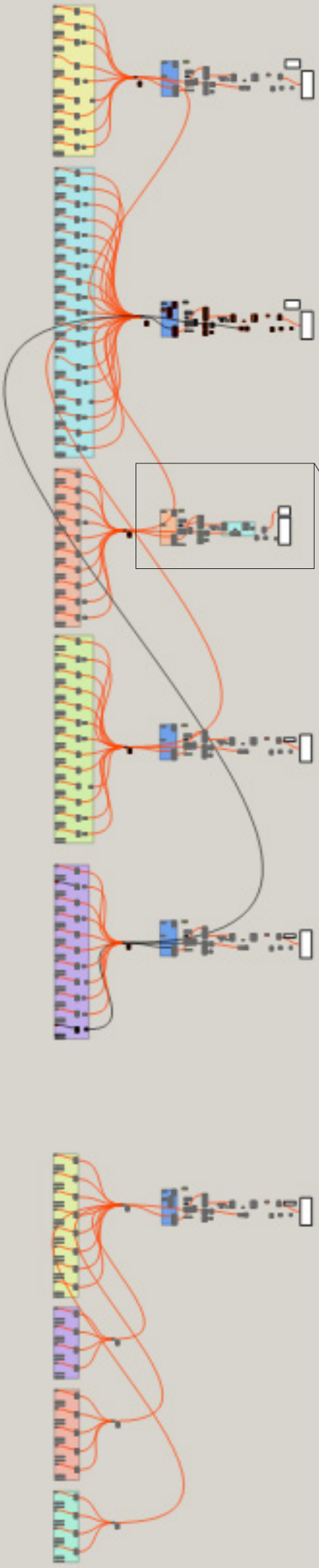
fig. 3.235 - *Modelli 3D con i sensori per il calcolo della radiazione*

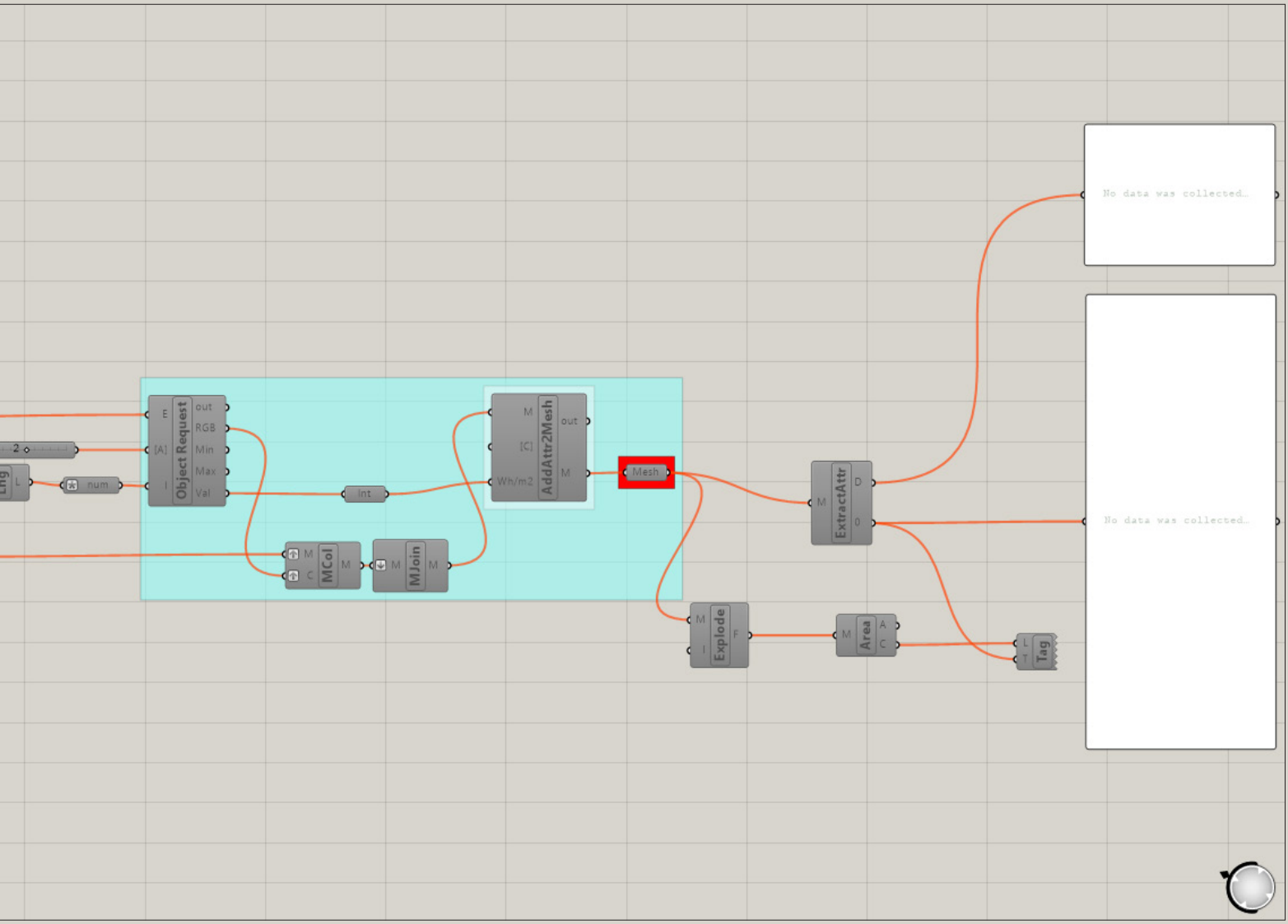
e ombreggiamento. Sono state così impostate altre griglie di sensori per daterminare questi effetti.

Le possibilità offerte da Grasshopper non si sono fermate qui. il programma infatti consente di impostare le analisi di irraggiamento e illuminazione collegandosi automaticamente ad Ecotect col quale successivamente impostare le prime analisi a scopo valutativo.

Infine, in seguito a tutte le analisi e alle simulazioni, è stato individuato una porzione di edificio composto dalle aree maggiormente irradiate dal sole che hanno definito un *mantello* o un *guscio solare* sul quale poi si progetterà un impianto per la produzione di energia solare.

fig. 3.234 - *Screenshot dell'organizzazione del file di Grasshopper con collegamenti a Ecotect tramite Geco*


WeatherFile
WeatherFile
Toggle
True
Link Ecotect
out
Cal
1
Cal
0
15
Toggle
False
Slider
180
Slider
210
Slider
8
Slider
12
Dom
Dom
Insolation Calculations
EcoSunPath
EcoSunRays
Explode
Ln
Export Mesh to Ecotect
Slider
0.198
Esportazione file in Ecotect


Object Request
out
RGB
Min
Max
Val
num
Int
MCol
MJoin
AddAttr2Mesh
Wh/m2
Mesh
ExtractAttr
Explode
Area
Tag
No data was collected.
No data was collected.

```
################################################
# Daysim Material File
################################################
# All comments start with an '#'
################################################

# SOURCE FILE: C:/DAYSIM/projects/Ex5.1DaylightingAnalysisOfASingleOffice/tmp/ImportFrom3ds.mat.rad

#<----------------------------------------
# The material description for GenericInteriorFloor is taken from the Daysim database
# material GenericFloor30
# material_type opaque
# comment: This is a purely diffuse reflector with a reflectivity of 30% which
#    according to the Lighting Handbook of the International Engineering
#    Society of North America (IESNA) is a typical floor reflectivity.
#
void plastic GenericFloor30
0
0
5 0.3 0.3 0.3 0 0
#<----------------------------------------

#<----------------------------------------
# The material description for  GenericInteriorWall is taken from the Daysim database
# material GenericWall60
# material_type ...
void plastic GenericWall60
0
0
5 0.6 0.6 0.6 0 0
#<----------------------------------------

#<----------------------------------------
# The material description for GenericInteriorCeiling is taken from the Daysim database
# material GenericCeiling80
# material_type ...
void plastic GenericCeiling80
0
0
5 0.8 0.8 0.8 0 0
#<----------------------------------------

#<----------------------------------------
# The material description for DblGlazSpecSel72 is taken from the Daysim database
# material DblGlazSpecSel72
# material_type transparent
# comment: This is a generic, spectrally selective double glazing with a
#        visual transmittance of 72%.
void glass DblGlazSpecSel72
0
0
3 0.784590 0.784590 0.784590
#<----------------------------------------

#<----------------------------------------
# The material description for SingGlazClear90 is taken from the Daysim database
# material SingGlazClear90
# material_type ...
void glass SingGlazClear90
0
0
3 0.980123 0.980123 0.980123
#<----------------------------------------
```

Daysim header information

material properties for "GenericInteriroFloor"

Radiance material "plastic".

5 values: ref_{red} ref_{green} ref_{blue} specularity roughness

This line indicates that "GenericInteriorWall" has been automatically substituted with the entry from the Daysim material database

Radiance material "glass".

3.7.6 ANALISI E DATI

Algoritmi per le simulazioni della radiazione luminosa

Un modello tridimensionale di un edificio contiene informazioni sulla geometria e su alcune proprietà ottiche dei materiali ad esso applicati. Le condizioni climatiche di un istante particolare nel tempo sono descritte attraverso degli *Sky Models*.

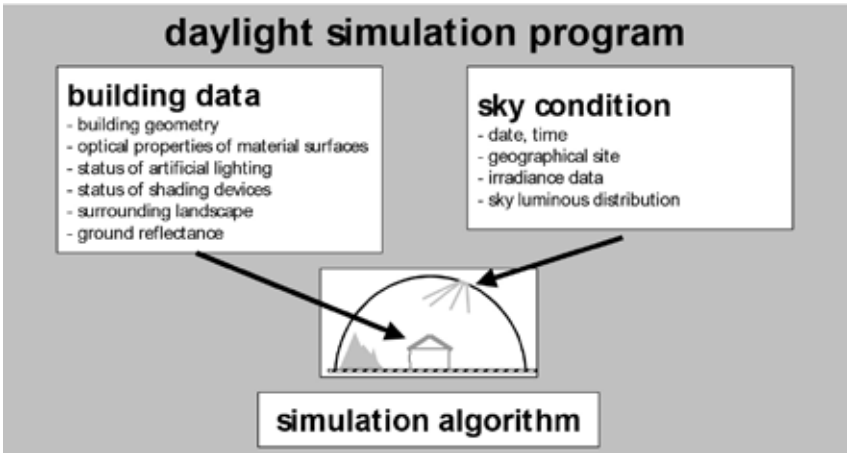
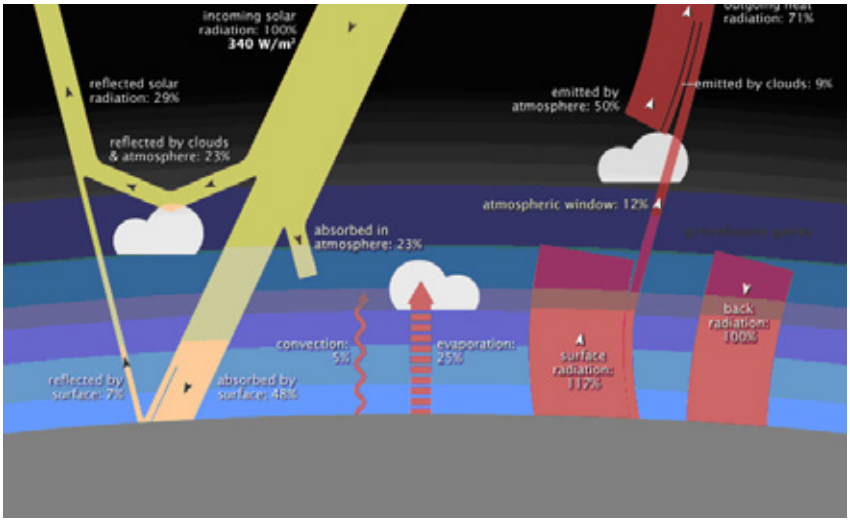


fig. 3.236 - *Impostazione dei fattori che influenzano il programma per la simulazione di irraggiamento*

In un giorno di sole, la principale fonte di luce nel cielo proviene direttamente da esso. Tuttavia la radiazione diretta viene anche sparpagliata in seguito al suo passaggio attraverso l'atmosfera, la semisfera celeste complessiva emette quindi a sua volta della luce nello spettro del campo visibile. Per convenzione la radiazione luminosa viene divisa pricipalmente in due componenti: una diretta ed una diffusa.



Ciascuna particolare condizione del cielo può essere caratterizzata attraverso la distribuzione luminosa della semivolta celeste. Questa quantità fisica è tradizionalmente rappresentata da una funzione bidimensionale che restituisce diversi valori di illuminamento in diverse direzioni del cielo. Questa distribuzione della radiazione solare può essere misurata con *sky scanner* o attraverso simulazioni digitali. Queste ultime simulano la distribuzione luminosa utilizzando date, istanti, posizioni geografiche e database di dati sulla radiazione solare. Ovviamente queste simulazioni risultano essere molto più precise. Le condizioni al contorno riguardanti il cielo sono basate su *CIE overcast*

anc clear sky models. CIE è la Commission Internationale de l'Eclairage (commissione internazionale sull'illuminazione), un'organizzazione che favorisce la cooperazione internazionale e gli scambi di informazioni su tutto quello che riguarda la scienza e l'arte dell'illuminazione. I due modelli di riferimento sono:

- *CIE clear sky*;
- *CIE overcast sky*.

Ovvero i modelli che descrivono i due estremi di una giornata con cielo perfettamente sereno e una con cielo completamente coperto di nuvole. Questi due scenari sono convenzionalmente utilizzati per analizzare il comportamento degli edifici in condizioni di illuminazione estreme. In particolare, lo scenario con cielo coperto è utilizzato per calcolare la distribuzione del fattore di luce su un edificio. Mentre gli scenarie CIE ci aiutano ad investigare il comportamento di un edificio in particolare condizioni climatiche, non ci permettono di giudicare le performaces dell'edificio durante tutto il corso dell'anno. In questo caso, è necessario utilizzare specifici database di file climatici annuali e i cosiddetti *Perez Sky Models*. Questi sono un ulteriore affinamento dei modelli CIE soprattutto per lo scenario in condizioni di cielo coperto. Infatti, per un risultato ottimale, la modellazione delle condizioni climatiche al contorno è fondamentale. Daysim per prima cosa importa un file climatico prodotto da EnergyPlus che contiene una serie di dati orari di radiazione diretta e diffusa. Successivamente sfrutta un modello stocastico (o processo aleatorio) autocorrelazionale per convertire le serie di dati da 1 ora in una sequenza dati di tempo da 1 minuto di irradiazione diretta e diffusa. Utilizzando i Perez Sky Models queste radiazioni sono prima convertite in dati di illuminazione e poi in una serie di distribuzione luminosa del cielo della semisfera celeste per tutte le condizioni metereologiche dell'anno.

Calcolo dell'illuminazione

Due principali approcci numerici sono stati usati nel passato per simulare l'illuminazione nello spazio tridimensionale: radiosity e raytracing. *Radiosity* è sato originalmente sviluppato per risolvere problemi riguardanti il trasferimento di calore per irraggiamento in varie forme tra superfici basato sul fattore di vista o di forma. Dagli Anni 80 è stato anche applicato alle simulazioni grafiche digitali per calcolare i livelli di illuminazione per la luce artificiale e naturale. Un fattore di forma o vista definisce la frazione di energia che parte da una superficie sorgente e giunge diretta verso una seconda superficie captante. Nel modello Radiosity ogni superficie è trattata come un riflettore perfettamente diffondente con un'illuminazione costante così che lo scambio radiativo tra le due superfici possa essere descritto tramite un singolo valore che dipende solo dalle proprietà riflessive delle superfici e delle geometrie. L'approccio di fondo del modello Radiosity può essere affiancato da un approccio ad elementi finiti che individua le regioni e le aree caratterizzate da un elevato gradiente di illuminazione. Queste sono definite attraverso *patches* che a loro volta vengono suddivise in altre superfici più piccole fino a formare una sorta di griglia di sensori captanti. L'idea alla base del modello *Raytracing* invece è quella di simulare ogni singolo raggio solare nello spazio per calcolare la distribuzione luminosa su una superficie a partire da un dato punto di vista. Pertanto, i raggi sono emessi da un punto di interesse stabilito e seguiti fino a che non colpiscono una sorgente di luce o di un altro oggetto. Nel primo caso la funzione di distribuzione dell'illuminazione della sorgente luminosa determina il contributo d'illuminazione dal punto di vista scelto. Se un raggio colpisce un oggetto diverso da una sorgente luminosa, l'illuminazione del soggetto interessato deve essere calcolata anche con i raggi secondari emessi dagli oggetti vicini. La distribuzione angolare secondo cui i raggi secondari vengono generati dipende dalle proprietà ottiche del materiale dell'oggetto stesso. Importante sottolineare il fatto che l'effetto di un raggio è annullato (abortito) dal programma se un determinato numero di rimbalzi su superfici è raggiunto o se il peso di un raggio scende sotto un determinato valore di soglia. Un vantaggio del modello Radiosity rispetto a quello Raytracing è che richiede un tempo di calcolo inferiore per geometrie lineari che non sono costituite da

superfici troppo complesse. Questo vantaggio diminuisce progressivamente con modelli tridimensionali sempre più complessi. Questo aspetto è meno importante se si desidera ottenere solamente un impressione visiva per un dato scenario (valutazione iniziale), ma se si vogliono ottenere dei risultati scientifici precisi solo il modello Raytracing può avere successo per il fatto che la riflessione delle superifici e dei materiali sono le più fedeli alla realtà.

Radiance

Radiance® è un programma di raytracing basato su reali leggi fisiche sviluppato da Greg Ward alla Lawrence Berkeley National Laboratory, capace di fornire una distribuzione d'illuminazione su edifici complessi sotto arbitrarie condizioni di cielo. I contributi calcolati sono conteggiati separatamente in radiazione diretta e riflessa. Per ridurre lo sforzo del calcolo del modello di Raytracing, il programma incorpora degli schemi di interpolazione e di estrapolazione che consentono di stimare l'illuminazione del punto di interesse da parte dell'illuminazione secondaria offerta dagli oggetti vicini.

I parametri per le simulazione

Il programma richiede il settaggio di numerosi parametri per la simulazione. I risultati possono essere sottostimati o sovrastimati se vengono omesse porzioni di cielo dal calcolo o porzioni di superfici interessate dallo scenario in analisi.

Di seguito le principali direttive per come scegliere i diversi parametri:

- *ambient bounces* (a.b.): questo parametro descrive il numero di riflessioni, che comportano un significativo contributo, che vengono calcolate prima che vengano scartate. Questo parametro incrementa significativamente il tempo di calcolo richiesto e deve quindi essere settato correttamente;
- *ambient division* (a.d.) e ambient sampling (a.s.): l'ad determina il numero di raggi campione che sono inviati dalla sorgente durante il tempo impostatao per una simulazione di calcolo. Il paramento a.s. determina un numero extra di raggi che sono proiettati in un'area con un elevato gradiente di illuminamento;
- *ambient accuracy* (a.a.) e ambient resolution (a.r.): la combinazione di questi due parametri con la massima dimensione della scena esaminata determinano la precisione della distribuzione dell'illuminazione nella scena stessa;
- *direct threshold* (d.t.): questa opzione spegne/accende la sorgente d'illuminazione considerata durante ogni analisi di ombreggaiamento;
- *direct sub sampling* (d.s.): questa opzione accende/spegne il parametro d.t. e solo un raggio alla volta viene inviato alla sorgente luminosa per essere calcolato. Durante il calcolo dei coefficienti dell'illuminazione diretta, solo i raggi con un'angolazione di 0,5° sono tenuti in considerazione, disabilitando la velocità del d.s. senza impedire la sua accuratezza.

DaySim

DaySim® è un software di analisi per l'illuminazione naturale basato su Radiance, capace di calcolare la radiazione luminosa complessiva su un edificio e sul contesto. Permette agli utenti di modellare sistemi dinaminci di facciata analizzando tutti i tipi di elementi possibili che riguardano l'illuminazione e le sue schermature. L'analisi è condotta grazie a dei sensori localizati sulle superfici interessante e gli output delle simulazioni restituiscono

un ventaglio di dati e valori di radiazione ed illuminzazione su di essi. Questi dati possono essere poi reinterpretati e interscabiati con altri programmi quali EnergyPlus®, eQuest® e TRNSYS®. Il compito di un algoritmo per la simulazione di illuminzaione è quello di predirre la quantità di radiazione luminosa in un istante o in un determinato periodo per un modello tridimensionale. Per calcolare i profili di illuminazione annuali, si potrebbe anche usare i programmi standard di Radiance e sviluppare migliaia di analisi ora per ora per tutte le condizioni di cielo possibili durante l'anno. Questo approccio non è per nulla pratico rispetto ad una simulazione per una singola ora con una singola condizione di cielo che potrebbe necessitare dipoche ore; il primo infatti potrebbe richiedere addirittura anni di calcolo. Per rendere le simulazioni più rapide, Daysim usa gli algoritmi di Radiance in coppia con un approccio a coefficienti di illuminazione.

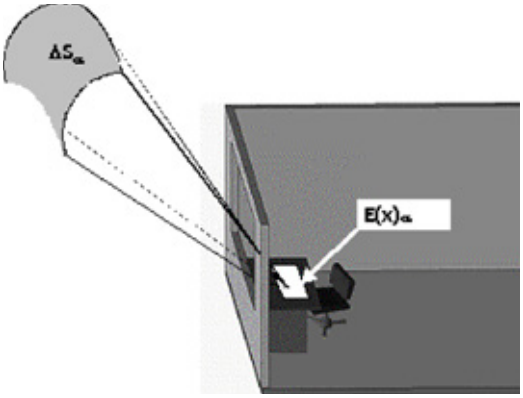
Il coefficiente d'illuminazione

Un coefficiente di illuminazione non deve essere confuso con un fattore di illuminazione. Il concetto di coefficiente di illuminazione è stato in origine proposto da Tregenza come un metodo per calcolare i livelli di illuminazione interni grazie all'illuminazione sotto arbitrarie condizioni di cielo. L'idea di base è quella di dividere teoricamente l'emisfero celeste in tante porzioni più piccole. Successivamente il contributo all'illuminazione totale in un punto su un edificio è calcolato singolarmente per ogni porzione di cielo. La figura dimostra il concetto dei coefficiente di illuminazione.

Il coefficiente di illuminazione $DC_\alpha(x)$ descrive l'illuminazione $E_\alpha(x)$ al punto x sull'edificio che è causato da una porzione infinitesima di cielo S_α che è irraggiata con un illuminazione normalizzata L_α:

$$DC_\alpha(x) = E_\alpha(x) / L_\alpha \Delta S_\alpha$$

Il vantaggio principale di utilizzare un approccio con coefficiente di illuminazione è che una volta che i coefficienti per ogni segmento sono stati calcolati per un punto di riferimento, la radiazione e l'ìlluminamento per quel punto possono essere calcolati in pochi secondi per ogni possibile scenario di cielo combinando i coefficienti con la distribuzione di illuminazione del cielo. L'illuminazione proveniente da ogni singola porzione di cielo per una data condizione atmosferica può essere poi calcolata con i Perez Sky Model precedentemente descritti.



Definizione delle proprietà dei materiali

Definire le corrette proprietà fisiche dei materiali per tutte le superfici negli scenari è cruciale per la simulazione complessiva. Radiance® e Daysim® consetono di modellare correttamente un ampio numero di proprietà dei materiali: riflessioni diffusive e speculari, opache e trasparente. Nonostante Daysim® consenta di semplificare il lavoro di analisi, è necessario impostare i parametri e i settaggi nel modo corretto. Gestire i materiali è possibile grazie al *Daysim Material file*, tipico per ogni oggetto. Questo è un file .txt all'interno del quale è possibile modificare i diversi parametri.

La corretta impostazione di questo file consentirà al programma di restituire nel modello dai valori molto prossimi a quelli della realtà e quindi più accurati.

Organizzazione dei dati

L'analisi è stata condotta stilando una tabella riassuntiva per poter gestire tutti i dati in uscita dai software di calcolo energetico e di illuminazione naturale: DaySim, DIVA-for-Rhino ed Ecotect. I dati riguardano tutte le combinazioni possibili tra gli scenari e gli elementi per i casi esaminati.

tab. 3.25 - *Dati e paramentri per ogni combinazione tra diversi scenari e elementi*

Caso o combinazione esaminata	a.b.	g.r.	Volume [m³]	Exposed Building Envelope Surfaces [m²]	Num. Sensors	m²/ sensor
Initial_Scenario	3	0,0	5409,03	2335,06	840	2,7798
Project_Scenario	3	0,0	5409,38	2353,67	1590	1,4803
Initial_Scenario	3	0,15	5409,03	2335,06	840	2,7798
Project_Scenario	3	0,15	5409,38	2353,67	1590	1,4803
Initial_Scenario	3	0,0	5409,03	2335,06	840	2,7798
Project_Scenario	3	0,0	5409,38	2353,67	1590	1,4803
Initial_Scenario - with context	3	0,15	5409,03	2335,06	840	2,7798
Project_Scenario - with context	3	0,15	5409,38	2353,67	1590	1,4803
Facade_East-South_Available_Scenario_Isolated	3	0,0		1020,953	377	2,7081
Facade_East-South_Optimized_Scenario_Isolated	3	0,0		945,607	782	1,2092
Facade_East-South_Available_Scenario_Context	3	0,15		1020,953	377	2,7081
Facade_East-South_Optimized_Scenario_Context	3	0,15		945,607	782	1,2092
Context Impact Isolated EAST	3	0		328,683	50	6,5737
Context Impact Available EAST	3	0		328,683	50	6,5737
Context Impact Optimized EAST	3	0		328,683	50	6,5737
Context Impact Isolated EAST	3	0,15		328,683	50	6,5737
Context Impact Available EAST	3	0,15		328,683	50	6,5737
Context Impact Optimized EAST	3	0,15		328,683	50	6,5737
Context Impact Isolated NORTH	3	0		588,672	100	5,8867
Context Impact Available NORTH	3	0		588,672	100	5,8867
Context Impact Optimized NORTH	3	0		588,672	100	5,8867
Context Impact Isolated NORTH	3	0,15		588,672	100	5,8867
Context Impact Available NORTH	3	0,15		588,672	100	5,8867
Context Impact Optimized NORTH	3	0,15		588,672	100	5,8867
Solar Active Shell - Isolated	3	0		631	598	1,0552
Solar Active Shell - Isolated	3	0.15		631	598	1,0552
Solar Active Shell - Context	3	0		631	598	1,0552
Solar Active Shell - Context	3	0.15		631	598	1,0552

Caso o combinazione esaminata	a.b.	g.r.	Volume [m³]	Exposed Building Envelope Surfaces [m²]	Num. Sensors	m²/ sensor
Building without Shell - Isolated	3	0		1722,307	992	1,7362
Building without Shell - Isolated	3	0.15		1722,307	992	1,7362
Building without Shell - Context	3	0		1722,307	992	1,7362
Building without Shell - Context	3	0.15		1722,307	992	1,7362
				2353,307	1590	
Entire Building	3	0.15		2353,67	1590	1,4802

Caso o combinazione esaminata	m²/ sensor	kWh/year	kWh/ m²year				
Initial_Scenario	2,7798	1448946,67	620,53		0,0%		
Project_Scenario	1,4803	1536555,12	652,7	6,05%	6,0%	32,17	
Initial_Scenario	2,7798	1572936,63	673,63		8,6%		
Project_Scenario	1,4803	1649919,11	700,85	4,89%	13,9%	27,22	*-1,15%*
Initial_Scenario	2,7798	1253231,71	536,71	-13,5%	-13,5%		
Project_Scenario	1,4803	1366164,2	580,32	-5,7%	-5,7%	43,61	
Initial_Scenario - with context	2,7798	1331002,54	570,01	0,0%	-8,1%		
Project_Scenario - with context	1,4803	1440993,46	612,11	8,3%	-0,5%	42,1	*5,16%*
Facade_East-South_Available_ Scenario_Isolated	2,7081	688392	674,26				
Facade_East-South_Optimized_ Scenario_Isolated	1,2092	676345,63	715,26		6,08%	41	
Facade_East-South_Available_ Scenario_Context	2,7081	721416,12	706,61				
Facade_East-South_Optimized_ Scenario_Context	1,2092	706661,88	747,32		5,76%	40,71	*-0,32%*
Context Impact Isolated EAST	6,5737	181021,72	550,75				
Context Impact Available EAST	6,5737	138709,9	422,01			-23,38%	
Context Impact Optimized EAST	6,5737	151266,7	460,22		9,05%	-16,44%	
Context Impact Isolated EAST	6,5737	199004,85	605,46	54,71			
Context Impact Available EAST	6,5737	153376,62	466,64	44,63			
Context Impact Optimized EAST	6,5737	165907,13	504,76	44,54	8,17%		
Context Impact Isolated NORTH	5,8867	373905,31	635,17				
Context Impact Available NORTH	5,8867	328717,68	558,41		-12,08%		
Context Impact Optimized NORTH	5,8867	328954,91	558,81		0,07%		
Context Impact Isolated NORTH	5,8867	407067,8	691,5				
Context Impact Available NORTH	5,8867	357908,74	608		-12,08%		
Context Impact Optimized NORTH	5,8867	358171,56	608,44		0,07%		
Solar Active Shell - Isolated	1,0552	597738,51	947,27				
Solar Active Shell - Isolated	1,0552	610182,88	966,99				
Solar Active Shell - Context	1,0552	591376,58	937,19				

Caso o combinazione esaminata	m²/ sensor	kWh/year	kWh/ m²year		
Solar Active Shell - Context	1,0552	600042,67	950,92		
Building without Shell - Isolated	1,7362				
Building without Shell - Isolated	1,7362				
Building without Shell - Context	1,7362	644273,63	374,08		
Building without Shell - Context	1,7362	719228,76	417,6		
		1319271,43		109%	
Entire Building	1,4802	1448749.93	615.53		

Caso o combinazione esaminata	Scientifico	Pratico	
Initial_Scenario	0,00%		
Project_Scenario	6,05%	6,05%	
Initial_Scenario	8,56%		
Project_Scenario	13,87%	4,89%	-1,15%
Initial_Scenario	0,00%		
Project_Scenario	9,01%	9,01%	
Initial_Scenario - with context	6,21%		
Project_Scenario - with context	14,98%	8,26%	-0,75%
Facade_East-South_Available_Scenario_Isolated	0,00%		
Facade_East-South_Optimized_Scenario_Isolated	6,08%	6,08%	
Facade_East-South_Available_Scenario_Context	4,80%		
Facade_East-South_Optimized_Scenario_Context	10,84%	5,76%	-0,32%
Context Impact Isolated EAST	0,00%		
Context Impact Available EAST	-23,37%		
Context Impact Optimized EAST	-16,44%		
Context Impact Isolated EAST	9,93%		
Context Impact Available EAST	-15,27%		40,18%
Context Impact Optimized EAST	-8,35%		
Context Impact Isolated NORTH	0,00%		
Context Impact Available NORTH	-12,09%		49,04%
Context Impact Optimized NORTH	-12,02%		
Context Impact Isolated NORTH	8,87%		
Context Impact Available NORTH	-4,28%		
Context Impact Optimized NORTH	-4,21%		

Verifica dei risultati

Per poter dare una valenza scientifica al processo svolto sono state condotte delle verifiche incorciate sui dati ottenuti per poter dimostrarne la veridicità.

Sul totale dell'irradiazione solare che investe l'edificio abbiamo verificato superficie per superficie e poi sommato i risultati per dimostrare di aver ottenuto lo stesso risultato senza errori. Il risultato finale finale presenta uno scarto minimo da ritenersi trascurabile, dovuto alle imprecisioni del foglio di calcolo excel.

Di seguito i dati riguardanti l'edificio ottimizzato finale scelto con le superfici divise per comodità secondo la porzione di edificio a cui appartengono.

tab. 3.26 - *Verifica dei dati per ogni superficie.*

Serre	**a.b.**	**g.r.**	**Exposed Building Envelope Surfaces [m²]**	**Num. Sensors**	**m²/sensor**	**kWh/ year**	**kWh/ m²year**	**% I_g**	**% Sup.**	**% I_{TOT}**
Sup.9	3	0,15	61,364	30	2,045466667	32362	527,36	2,45%	2,61%	4,50
Sup.8	3	0,15	114,859	50	2,29718	68511	596,48	5,19%	4,88%	9,53
Sup.7	3	0,15	202,542	100	2,02542	99467,96	491,1	7,54%	8,61%	13,83
Sup.6	3	0,15	29,446	10	2,9446	13870,17	471,04	1,05%	1,25%	1,93
Sup.5	3	0,15	18,382	10	1,8382	19330,47	1051,6	1,47%	0,78%	3,22
Sup.4	3	0,15	8,702	5	1,7404	9232,23	1060,93	0,70%	0,37%	1,54
Sup.3	3	0,15	8,738	5	1,7476	5570,92	637,55	0,42%	0,37%	0,77
Sup.2	3	0,15	6,557	5	1,3114	5544,3	845,56	0,42%	0,28%	0,77
Sup.1	3	0,15	13,477	6	2,246166667	3211,65	238,31	0,24%	0,57%	0,45
Tot-Shell			436,983					17,32%	18,57%	
Tot+Shell			464,067					19,49%	19,72%	

Vol. Nord	**a.b.**	**g.r.**	**Exposed Building Envelope Surfaces [m²]**	**Num. Sensors**	**m²/sensor**	**kWh/ year**	**kWh/ m²year**	**% I_g**	**% Sup.**	**% I_{TOT}**
Sup.18	3	0,15	4,682	5	0,9364	1493,31	318,95	0,11%	0,20%	0,21
Sup.17	3	0,15	2,122	5	0,4244	1615,81	761,46	0,12%	0,09%	0,22
Sup.15	3	0,15	10,672	5	2,1344	842,07	78,9	0,06%	0,45%	0,12
Sup.14	3	0,15	26,303	16	1,6439375	7694,87	292,55	0,58%	1,12%	1,07
Sup.10	3	0,15	37,537	25	1,50148	25044,11	667,18	1,90%	1,59%	3,48
Sup.9	3	0,15	2,894	5	0,5788	2024,33	699,49	0,15%	0,12%	0,28
Sup.8	3	0,15	53,541	25	2,14164	32659,79	610	2,48%	2,27%	4,54
Sup.7	3	0,15	2,706	5	0,5412	2802,35	1035,61	0,21%	0,11%	0,39
Sup.6	3	0,15	27,667	25	1,10668	31716,76	1146,38	2,40%	1,18%	5,29
Sup.5	3	0,15	32,648	25	1,30592	33668,01	1031,24	2,55%	1,39%	5,61
Sup.4	3	0,15	154,963	40	3,874075	62288,84	401,96	4,72%	6,58%	8,66
Sup.3	3	0,15	70,176	40	1,7544	25101,09	357,69	1,90%	2,98%	*3,49*
Sup.2	3	0,15	67,789	40	1,694725	20437,88	301,49	1,55%	2,88%	*2,84*
Sup.1	3	0,15	23,922	25	0,95688	1291,89	54	0,10%	1,02%	*0,18*
Sup.11 12 13 16	3	0,15	87,633	100	0,87633	1971,37	22,5	0,15%	3,72%	*0,27*
Tot.-Shell			544,94					14,04%	23,1%	
Tot.+Shell			605,255					19,00%	25,72%	

Vol. Torre	a.b.	g.r.	Exposed Building Envelope Surfaces [m²]	Num. Sensors	m²/sensor	kWh/ year	kWh/ m²year	% I_g	% Sup.	%I_{TOT}
Sup.10	3	0,15	1,09	5	0,218	907,16	832,25	0,07%	0,05%	0,13
Sup.9	3	0,15	20,808	25	0,83232	22141,47	1064,08	1,68%	0,88%	3,69
Sup.8	3	0,15	27,371	25	1,09484	33132,88	1210,51	2,51%	1,16%	5,52
Sup.7	3	0,15	27,33	25	1,0932	14565,29	532,94	1,10%	1,16%	2,03
Sup.6	3	0,15	15,849	25	0,63396	14950,23	943,29	1,13%	0,67%	2,49
Sup.5	3	0,15	42,949	25	1,71796	16653,7	387,76	1,26%	1,82%	2,32
Sup.4	3	0,15	15,168	25	0,60672	12063,12	795,3	0,91%	0,64%	2,01
Sup.3	3	0,15	80,527	25	3,22108	44875,51	557,27	3,40%	3,42%	6,24
Sup.2	3	0,15	58,057	25	2,32228	21222,45	365,55	1,61%	2,47%	2,95
Sup.1	3	0,15	35,21	25	1,4084	6858,34	194,78	0,52%	1,50%	0,95
Tot.-Shell			245,163					7,97%	10,42%	
Tot.+Shell			324,359					14,20%	13,78%	

Vol. Est	a.b.	g.r.	Exposed Building Envelope Surfaces [m²]	Num. Sensors	m²/sensor	kWh/ year	kWh/ m²year	% I_g	% Sup.	%I_{TOT}
Sup.13	3	0,15	2,587	7	0,369571429	2119,9	819,44	0,16%	0,11%	0,29
Sup.12	3	0,15	46,465	40	1,161625	34195,2	735,93	2,59%	1,97%	5,70
Sup.11	3	0,15	31,034	40	0,77585	30987,76	998,51	2,35%	1,32%	5,16
Sup.10	3	0,15	22,488	40	0,5622	23189,79	1031,21	1,76%	0,96%	3,86
Sup.9	3	0,15	19,323	40	0,483075	19924	1031,1	1,51%	0,82%	3,32
Sup.8	3	0,15	99,87	49	2,038163265	60649,34	607,28	4,60%	4,24%	8,43
Sup.7	3	0,15	57,581	28	2,056464286	8876,26	154,15	0,67%	2,45%	1,23
Sup.6	3	0,15	17,725	15	1,181666667	16781,38	946,76	1,27%	0,75%	2,80
Sup.5	3	0,15	34,176	25	1,36704	33114,91	968,95	2,51%	1,45%	5,52
Sup.4	3	0,15	39,496	24	1,645666667	34937,34	884,58	2,65%	1,68%	5,82
Sup.3	3	0,15	118,932	64	1,8583125	76770,67	645,5	5,82%	5,05%	12,79
Sup.2	3	0,15	77,374	40	1,93435	39913,35	515,85	3,03%	3,29%	5,55
Sup.1	3	0,15	34,806	40	0,87015	9407,52	270,28	0,71%	1,48%	1,31
Tot.-Shell			272,218					9,17%	11,57%	
Tpt.+Shell			601,857					29,63%	25,57%	

Vol. Sud	a.b.	g.r.	Exposed Building Envelope Surfaces [m²]	Num. Sensors	m²/sensor	kWh/ year	kWh/ m²year	% I_g	% Sup.	%I_{TOT}
Surf.11	3	0,15	11,743	15	0,782866667	6426,75	547,28	0,49%	0,50%	0,89
Surf.10	3	0,15	24,468	24	1,0195	7201,66	294,33	0,55%	1,04%	1,00
Surf.09	3	0,15	41,275	40	1,031875	22576,53	546,98	1,71%	1,75%	3,14
Surf.08	3	0,15	55,513	40	1,387825	56648,11	1020,45	4,29%	2,36%	9,44
Surf.07	3	0,15	47,638	40	1,19095	46212,57	970,08	3,50%	2,02%	7,70
Surf.06	3	0,15	8,598	25	0,34392	8431,45	980,63	0,64%	0,37%	1,41
Surf.05	3	0,15	5,931	15	0,3954	6068,16	1023,13	0,46%	0,25%	1,01
Surf.04	3	0,15	44,153	40	1,103825	45789,92	1037,07	3,47%	1,88%	7,63
Surf.03	3	0,15	86,572	32	2,705375	29860,58	344,92	2,26%	3,68%	4,15
Surf.02	3	0,15	22,84	15	1,522666667	9874,05	432,31	0,75%	0,97%	1,37
Surf.01	3	0,15	9,408	15	0,6272	3792,3	403,09	0,29%	0,40%	0,53
Tot-Shell			196,306					6,04%	8,34%	
Tot+Shell			358,139				100,73%	18,41%	15,22%	

DIVA-for-Rhino

DIVA-for-Rhino® è un plug-in per Rhinoceros. L'interfaccia è estremamente intuitiva e consente un calcolo di illuminazione diurna e di modellazione energetica all'avanguardia. DIVA 2.0 consente agli utenti di simulare le prestazioni ambientali dei modelli digitali 3D di edifici e paesaggi urbani, e offre ai progettisti l'accesso con strumenti aggiornati, metrici avanzati per lo studio di abbagliamento, la radiazione solare, illuminazione naturale e di energia. Le simulazioni sono basate su motori potenti e standard del settore di prestazioni ambientali come Radiance, Daysim e EnergyPlus. Una componente correlata del software offre inoltre agli utenti la possibilità di studiare le variazioni di design dinamico quando viene utilizzato con il software di modellazione parametrica Grasshopper.

Le simulazioni in DIVA sono controllate da una toolbar integrato nell'interfaccia di Rhinoceros. Consente di impostare dei files climatici che definisco una posizione geografica e che successivamente vengono usati per le simulazioni di Daysim e EnergyPlus. I comandi Thermal Materials e Energy Metrics controllano i parametri di simulazione di EnergyPlus; i Nodes sono alla base delle simulazioni. I dati in uscita dal programma di simulazione energetica sono dati orari e mensili. I dati mensili sono automaticamente normalizzati dal programma in kWh/m^2 e include: guadagni interni totali, consumo enegetico dato dall'illuminazione elettrica (se c'è), raffrescamento e riscaldamento. I dati orari sono automaticamente visualizzati con una mappa temporanea a falsi colori che rappresenta le aree dell'edificio più o meno irraggiate. Questo permette al progettista i dati per determinare se l'edifcio possa essere considerato passivo, per scegliere dove e quando i sistemi schermanti si rendano necessari o per determinare le zone più favorevoli per sistemi fotovoltaici.

3.7.7 PUBBLICAZIONE SCIENTIFICA: CISBAT 2013

Questo approfondimento di carattere scientifico è stato sintetizzato in un articolo e, per poter essere poi pubblicato, sottoposto al vaglio della commissione del CISBAT 2013, una conferenza scientifica internazionale che si terrà sul lago di Losanna dal 4 al 6 di Settembre.

"CleanTechn for Smart Cities and Buildings. From nano to urban scale" è l'argomento cardine attorno al quale ruoterà tutto l'evento. La conferenza offrirà una piattaforma per un dialogo interdisciplinare e la presentazione di ricerche innovative e sviluppi nel campo della sostenibilità in merito all'ambiente costruito, coprendo un ampio spettro di argomenti dalle nanotecnologie solari fino alla simulazione su edifici e aree urbane.

Al CISBAT 2013 saranno invitati specialisti di istituzioni accademiche, industrie e istituzioni pubbliche provenienti da tutto il mondo per presentare il proprio lavoro innovativo.

Padrone di casa per la dodicesima volta sarà la Solar Energy and Building Physics Laboratory of the Swiss Federal Institute of Technology di Losanna, nota a livello internazionale per i suoi alti livelli di ricerca relativi alla fisica e alla sostenibilità degli edifici dell'ambiente costruito. Partners accademici della conferenza sono specialisti provenienti dalla University of Cambridge e dal MIT, supportati da un forte comitato scientifico internazionale.

Gli ambiti della conferenza saranno i seguenti:

- Topic 01: Nanostructured materials for renewable energies (solar nanotechnologies);
- Topic 02: Sustainable building envelopes (ecobuildings);
- Topic 03: Solar active and passive cooling (natural ventilation);
- Topic 04: Daylighting and electric lighting (green lighting);
- Topic 05: Indoor environment quality (occupants' comfort, health and behaviour);
- Topic 06: Advanced building control systems (biomimetic strategies);
- Topic 07: Urban ecology and metabolism (material and energy flows);
- Topic 08 Integration of renewables in the built environment (electricity, heating and cooling);
- Topic 09: *Building and urban simulation* (special session IBPSA-CH);
- Topic 10: Information technolgies and software (computer simulation).

Per partecipare era necessario inviare un articolo che trattasse un'approfondimento riguardante uno di questi ambiti.

La nostra proposta si inserisce nel topic n°09.

In allegato le foto del congresso e l'articolo completo inviato e pubblicato fra i proceedings del congresso CISBAT2013.

fig. 3.237 - *Affissione del poster esplcativo del lavoro svolto*

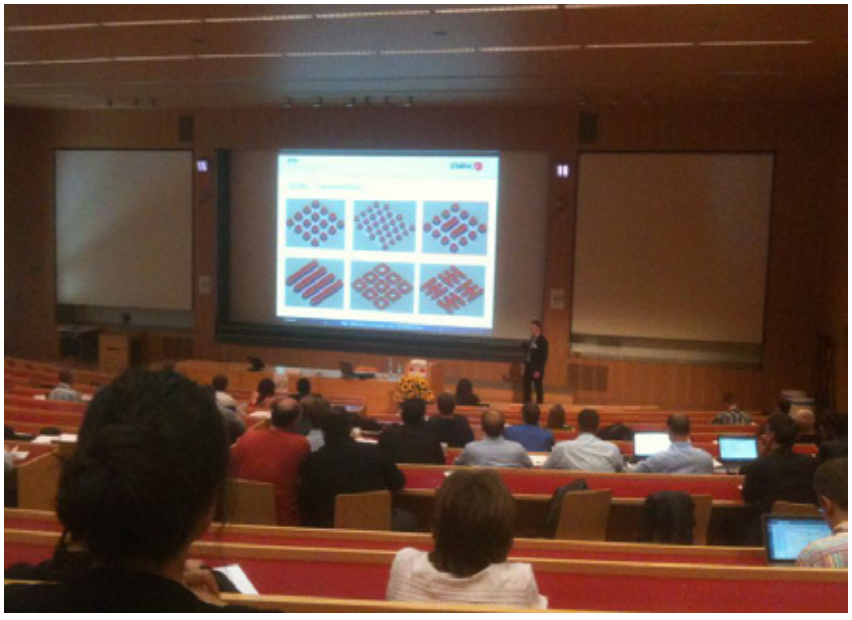


fig. 3.238 - *Partecipazione alle sessioni di esposizione dei paper*

A DESIGN APPROACH
FOR THE SOLAR OPTIMIZATION OF BUILT VOLUMES

Validation on a residential building's project in a historical district in Milan, Italy

Massimiliano Giani[1]; Cristian Belfiore[1]; Gabriele Lobaccaro[1]; Gabriele Masera[1]; Marco Imperadori[1]; Francesco Frontini[2]

1: Politecnico di Milano, Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Campus Leonardo, 20133, Milano, gabriele.lobaccaro@mail.polimi.it Phone: 0223996017

2: University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI) CH 6952 Canobbio, Switzerland

ABSTRACT

This paper presents a process of solar potential optimization for residential buildings in high density urban areas. The process is validated through its application to the project of a mixed use, net zero energy building including public facilities and four levels of apartments. The optimization process concerns three phases: energy, solar and panelling optimization. The design approach combines parametric volume transformations (*Rhinoceros - Grasshopper*), solar dynamic analysis (*Daysim*) and solar maps analysis (*DIVA for Rhino*). The energy optimization regards the reduction of the heated volume, compared with the allowable volume defined by the regulations of the city of Milan, to a smaller one with lower internal heights, minimizing the building's energy demand. The solar optimization is focused on the transformation of the initial volume based on the local urban parameters (distance among buildings, allowable profile, building's height, plot ratio), in order to improve the solar exposure and maximize the solar access. The façades are modified to reduce the overshadowing effect of the nearby buildings, maintaining the same volume. The optimized volume derives from parametric studies about solar availability tilting the vertical facades away from the vertical. Solar dynamic annual analyses were conducted using *Daysim* and *DIVA for Rhino* in order to compare the initial and the solar optimized scenarios. The first set of simulations was carried out on both the isolated initial and optimized volumes, while the second set was carried out on the latter volumes placed in the district, thus affected by the surroundings. The loss in floor area due to the slope of the south and east façades is balanced by the addition of living areas facing the inner court without losing any commercial floor area. This choice allows a comparison of the two buildings, which have different shapes but the same volume. The annual solar mapping analysis is performed to localize the most irradiated parts of the building envelope, giving the possibility to design both a photovoltaic or thermal solar system with variable density elements. The results show the increase of available solar radiation in solar optimized design, while the panelling study permitted to optimize both technology and energy design of the solar systems required and furthermore to justify the architectural choices that led the building's design. The studies have demonstrated that through the optimization of the building shape, it is possible to obtain a huge improvement in the amount of solar radiation available on the façades, while keeping the same envelope surface. The next steps of the research will be focused on the analysis of both photovoltaic and solar thermal panels' efficiency, as well as the related assessment of increased surface temperatures on the façades, due to the solar energy system integration.

INTRODUCTION

Recent surveys show that 31% of the electrical energy and 44% of the thermal energy produced are consumed by houses, offices and commercial buildings causing 36% of CO_2 emissions in Europe. Most of this energy is used for heating (78%) and air-conditioning (25%) [1]. These data show how important it is to design self-sustainable buildings in order to fulfil the energy needs taking advantage of renewable sources and reducing the impact on climate. In the recast of the Energy Building Performance Directive (2010/31/EU), the European Commission has established that by 2020 all new buildings within the European Union should reach the nearly zero energy buildings standards [2]. In this scenario it is necessary to develop an integrated design process taking into account the most important technical aspects since the early design phases. Therefore the right orientation, exposure and design of the building envelope, as well as its performance and the choice of the solar integrated systems, should be considered since the preliminary design steps [3] [4]. The design process should be carried out evaluating different shapes and observing their effects in terms of solar access and irradiation onto the building itself, as well as the effects over the surroundings and from the surroundings to the building [5] [6] [7]. This paper shows a process of design optimization of a new building located in via Palermo, North of the city centre of Milan (Italy). This is a high density area composed of 4 or 5 storey buildings. Currently the site of construction, constrained within an L shape rotated 12° clockwise from the North direction, is a big hole in the urban texture. Therefore, because of its localization, the area is strongly restricted in terms of footprint of the ground floor, building height, limits for elevations' profile, plot ratio, and size of rooms.

AIMS OF THE RESEARCH

The study presented in this paper is a validation of a new solar design approach based on the optimization of the built volume. The work proposes guidelines for the assessment of solar potential in urban areas through a process of parametric modelling of the relationships between buildings and districts. The new design approach is the result of a wider process started with a first optimization of volumes within an intervention of demolition and reconstruction, in search of the shape with the highest solar access [8]. The work continued with a second study [9], where a sensitivity analysis of the levels of total solar radiation on the external envelope has been carried out for several geometrical transformations of the building shape; finally, the same analyses were developed through parametric transformations of complex shapes [10]. As was shortly written above, the process of the solar design optimization here presented is organised into two different but logically consequent steps. The first part is related to the estimation of the increment of solar access of the new building through a comparison between the initial building's volume and the solar optimized shape, defined by a parametric study and maintaining the same volume (5,409 m^3) and the same amount of the exposed surfaces (2,340 m^2). The second part is focused on the localization of the most irradiated areas of the building envelope, suitable for the installation of solar systems in order to produce energy and reduce the building's purchased energy demand. Therefore the aims of the study are:

- improve the solar access of the new building;
- maintain or improve the solar access of the nearby buildings;
- localize the best areas for the installation of solar systems.

THEORY AND METHODOLOGY

The approach starts from the maximum volume allowed by the city planning regulations, reducing the floor-to-floor height, from 3.80 m to 3.50 m changing the total height of the building from 19.20 m to 18.00 m. The preliminary transformation, which is permitted by the local regulations, allowed the reduction of the heated volume used for further parametric study for solar access optimization. This volume, called *Vol.A-ref*, is considered isolated and not inserted in any context.

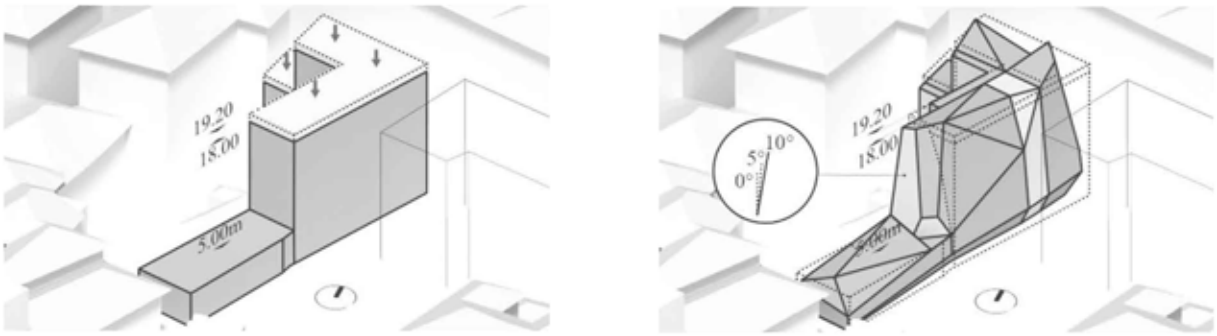


Figure 1. Comparison of the maximum allowable volume (Vol.0), initial volume (Vol.A) (on the left) and solar optimized volume (Vol.B) (on the right).

The approach is therefore based on the comparison, in different scenarios of analysis, between *Vol.A* and the Solar Optimized Volume, called *Vol.B*. The study started by fixing the urban parameters and modifying the shape of the building, varying them within the range indicated in the local urban planning regulations. All the transformations were conducted maintaining the volume of the building and the amount of surfaces exposed to the sky. Each transformation was applied taking into account parameters such as the orientation and inclination of the façades and the usability of the interior space. Figure 1 and Figure 2 summarize the different features considered for improving the solar exposure of the envelope surfaces. In particular the solar optimization process consists of an iterative parametric process that, for each façade, considers different slopes and orientations using generative modelling tools, such as *Rhinoceros* and *Grasshopper* [11]; the annual solar radiation analyses were run using a dynamic daylighting simulation tool, such as *Daysim* [12], considering all solar radiation components coming from sun (α), sky (β), reflections from the surroundings (λ) and from the ground (μ).

After the shape modelling based on the solar optimization process described above, same volumes with different shapes were obtained. The data of total annual radiation were filtered in order to choose the best shape with the highest value of solar access, limiting the overshadowing effect from the surroundings. Table 1 shows the final parameters used for all Radiance-based simulations, validated previously [10].

ambient bounces	ambient division	ambient super-sample	ambient resolution	ambient accuracy	specular threshold	direct sampling	direct relays
3	1000	20	300	0.1	0.15	0.20	2

Table 1. Set of "rtrace" parameters used for all radiance-based simulations.

Table 2 reports the radiance material adopted for surrounding buildings. All external surfaces of neighbouring buildings were treated with the average colour (pink) of existing districts. All simulations used the EnergyPlus weather statistical data climate file recorded for Milan-Malpensa Airport (latitude 45.27° N, longitude 9.11° E).

Material	Radiance Description	Number of values	R (refl.)	G (refl.)	B (refl.)	Specularity	Roughness
conc.plaster	void plastic	005	0.713	0.713	0.713	0.00	0.00

Table 2. list of radiance materials.

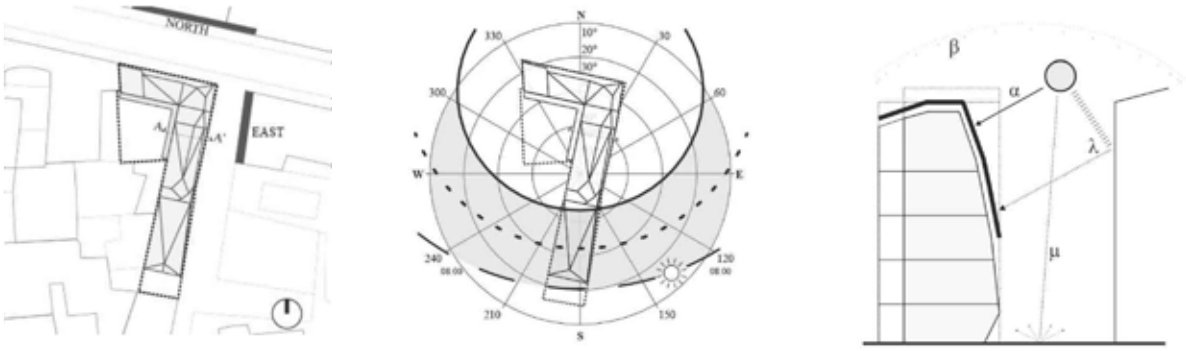


Figure 2. From the left side: site plan with the elevation of the analysed nearby buildings, the orientation of the building with respect to the sun path and section A-A' with different solar radiation components (sun (α), sky (β), surroundings reflections (λ), ground reflections (μ)).

The amount of solar radiation incident on the building envelope was calculated using the *Daysim* software. *Daysim* was developed by the National Research Council of Canada and the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems in Germany. It is one of the best software [13] to use for these kind of analysis. In a previous work [8], *Daysim* program was adopted and validated for a similar case of calculating solar radiation values on the external envelope of buildings.

The calculations have been performed using the DDS (dynamic daylight simulation) model, allowing for a more detailed analysis of direct solar radiation [13]. A detailed solar maps analysis, aimed at locating the most suitable area to install the solar energy system, was conducted using *DIVA for Rhino* [14]. It is a highly optimized daylighting and energy modelling plug-in for *Rhinoceros* and *Grasshopper*, based on *Radiance*.

RESULTS AND DISCUSSION

In the first part of the solar optimization process, regarding the improvement of the building's solar access, two different sets of simulations were run: in the first set, the total annual radiation on the building envelopes has been calculated, in the condition of simple isolated volumes, in order to define the design with the largest solar irradiation; in the second set of simulations, the analysed volumes were considered together with the existing urban environment, in order to estimate the overshadowing effects by nearby buildings.

Shape	ab	gr. refl.	R [kWh/yr]	R_A[kWh/m2yr]	Δ_{ref}[%]	Δ_{rel}[%]
Vol.A-ref	3	0	1,448,946.67	620.53	-	-
Vol.B	3	0	1,536,555.12	652.7	6.0	6.0
Vol.A	3	0.15	1,572,936.63	673.63	8.6	-
Vol.B	3	0.15	1,649,919.11	700.85	13.9	4.9

Table 3. Isolated Scenario - Results of solar radiation analysis. R: total solar radiation impacting on the external envelope. R_A: average solar radiation on the external envelope. Δ_{ref}: percentage of variation of solar radiation with respect to the initial reference volume (Vol.A-ref) and Δ_{rel}: with respect to the volume of the relative scenario analysed each time.

Shape	ab	gr. refl.	R [kWh/yr]	R_A[kWh/m2yr]	Δ_{ref}[%]	Δ_{rel}[%]
Vol.A	3	0	1,253,231.71	536.71	-13.5	-
Vol.B	3	0	1,366,164.2	580.32	-5.7	9.0
Vol.A	3	0.15	1,331,002.54	570.01	-8.1	-
Vol.B	3	0.15	1,440,993.46	612.11	-0.5	8.3

Table 4. Context Scenario - Results of solar radiation analysis. Legend: the same of Table 3.

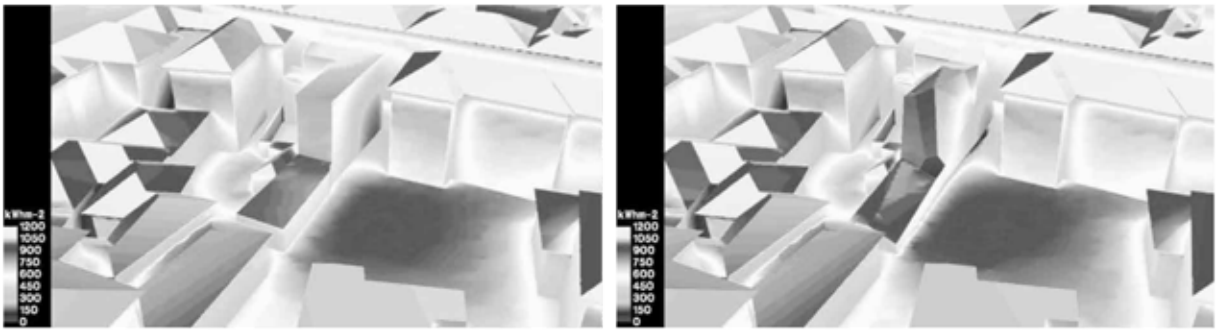


Figure 3. Comparison of solar radiation maps analyses between Vol.A (on the left) and Vol.B (on the right) in a Context Scenario – Elaboration data by DIVA for Rhino.

Each set of simulation includes two different scenarios: in the first, ambient bounces (ab) are set equal to 3 and ground reflectance (gr. refl.) equal to 0.0 in order to calculate only the solar reflection effect created by the surroundings, while in the second ab is considered equal to 3 and gr. refl. equal to 0.15, to calculate also the ground reflection contribution. The results are reported in Table 3 (*Isolated scenario*) and Table 4 (building inserted in a context – *Context Scenario*). The irradiation values obtained show that the solar optimization permits to increase the solar radiation on the building envelope up to 13.9% considering the isolated scenario. Moreover, the solar gains cover the reduction due to the surroundings (-0.5%) when the building is inserted in the context. It is important to underline that the ground reflectance affecting *Vol.B*, instead, does not provide the expected increment. The last column of Table 3 and Table 4 shows that the percentage of the scenario considering the ground reflection (ab=3, gr.refl.=0.15) is lower than the previous scenario (ab=3, gr.refl.=0.0). The increment of total solar radiation given by the ground reflected component is higher considering the *Isolated Scenario* (1.1%) and it is lower in the *Context Scenario* (0.7%). This is caused by the shape of the volume: the shape of the ground, visible in Figure 2, level has been designed in order to reduce the summer solar gains (both direct and reflected radiation) in the mediateca.

More solar access analyses were carried out on the context, in order to estimate if the amount of solar radiation on the façades of the nearby buildings would remain the same or would instead increase because of the new building. Considering the *Context Scenario* (ab=3, gr.refl=0.15) and the presence of *Vol.B*, the North and East façades of the closest building, are affected by an increment of solar radiation of 8.2% for the East façade and 0.7% for the North façade compared to the *Vol.A* case. The purpose of the second part of the solar optimization process was to localize the most irradiated surfaces of the building envelope; these would be the most suitable locations for the installation of the solar systems. The optimized volume includes North and East elevations tilted 6° away from the vertical direction. Starting from the South façade of the initial building, a new elevation is created by slicing the volume for the best exposure of South façade, which is sloped 10°. The "solar shell" (Figure 4) composed by 27% of the overall surface is able to harvest up to 45% of the total radiation incident on the building envelope, as estimated in the Context Scenario (ab=3, gr.refl.=0.15).

Figure 4. Views of the "Solar shell".

CONCLUSION AND OUTCOMES

The results confirmed that a new solar design approach can significantly contribute to the definition of the building's volume and the production of on-site renewable energy. Further studies are required to understand the consequences of the complex shapes deriving from the solar optimisation process, in terms of construction (panelling of surfaces) and cooling loads (increased surface temperatures due to solar panels).

REFERENCE

1. Ecofys Germany GmbH, Danish Building Research Institute (SBi), Principles for nearly zero-energy buildings - Paving the way for effective implementation of policy requirements, Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.
2. M. Hegger, M. Fuchs, T. Stark e M. Zeumer, Energy Manual. Sustainable architecture., Basel: Birkhäuser, Edition Detail, 2008.
3. M. Montavon, «Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential,» École Politechnique Fèdèrale de Lausanne, Losanne, 2010.
4. V. Vannini, B. Turkienicz and A. Krenzinger, "Geometric optimization of building façades for BIPV," in Proceedings of the Energy Forum 2012, Bressanone, Italy, 2011.
5. R. Compagnon, «Solar and daylight availability in the urban fabric,» Energy and Buildings, vol. 36, pp. 321 - 328, 2004.
6. R. Compagnon and D. Raydan, "Irradiance and illuminance distributions in urban areas," in In Proceedings of PLEA 2000, Cambridge UK, July 2000.
7. M. Montavon, J. Scartezzini and R. Compagnon, "Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments," in In PLEA2004, Eindhoven, The Netherlands, 2004.
8. G. Lobaccaro, G. Masera and T. Poli, "Solar district: design strategies to exploit the solar potential of urban areas," in Proceedings of the XVIII IAHS World Congress, Istanbul, Turkey, 2012.
9. G. Lobaccaro, F. Fiorito, G. Masera, Poli and T., "District Geometry Simulation: A Study for the Optimization of Solar Façades in Urban Canopy Layers," Energy Procedia, vol. 30, pp. 1163-1172, 2012.
10. G. Lobaccaro, F. Fiorito, G. Masera and D. Prasad, "Urban solar district: a case study of geometric optimization of solar façades for a residential building in Milan," in Solar 2012 Conference, Melbourne, 2012.
11. David Rutten and Robert McNeel & Associates., «Rhinoceros and Grasshopper software».
12. Harvard University, National Research Council Canada, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, «Daysim version 3.1b,,» 2010.
13. D. Ibarra and C. Reinhart, "Solar availability: a comparison study of six irradiation distribution methods.," in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association., Sydney, 2011.
14. Graduate School of Design at Harvard University - Solemma LLC, «DIVA for Rhino,» 2013.

POLITECNICO DI MILANO

SUPSI

NTNU

A DESIGN APPROACH FOR THE SOLAR OPTIMIZATION OF BUILT VOLUMES

Validation on a residential building's project in a historical district in Milan

Massimiliano Giani[1]; Cristian Belfiore[1]; Gabriele Lobaccaro[2]; Gabriele Masera[1]; Marco Imperadori[1]; Francesco Frontini[3]

1: Politecnico di Milano, Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Campus Leonardo, 20133, Milano (Italy) - gabriele.masera@polimi.it
2: Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology - Alfred Gets vei 3, 7491, Trondheim (Norway) - gabriele.lobaccaro@ntnu.no
3: University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI) - CH 6952 Canobbio (Switzerland) - francesco.frontini@supsi.ch

Objectives

The study presented is a **validation of a new solar design approach** based on built volume's optimization. The work proposes guidelines for the assessment of solar potential in urban areas through a process of parametric modelling. The process is organised into **two steps**:

1th_the estimation of the increment of solar access of the new building through a comparison between the initial building's volume and the solar optimized shape, defined by a parametric study, maintaining the volume and the exposed surfaces.

2th_the localization of the suitable areas for the installation of solar systems in order to produce energy and reduce the building's purchased energy demand.

The aims are:
_improve the solar access of the new building;
_improve the solar access of the nearby buildings;
_localize the best areas for solar systems' installation.

Milano brera design district

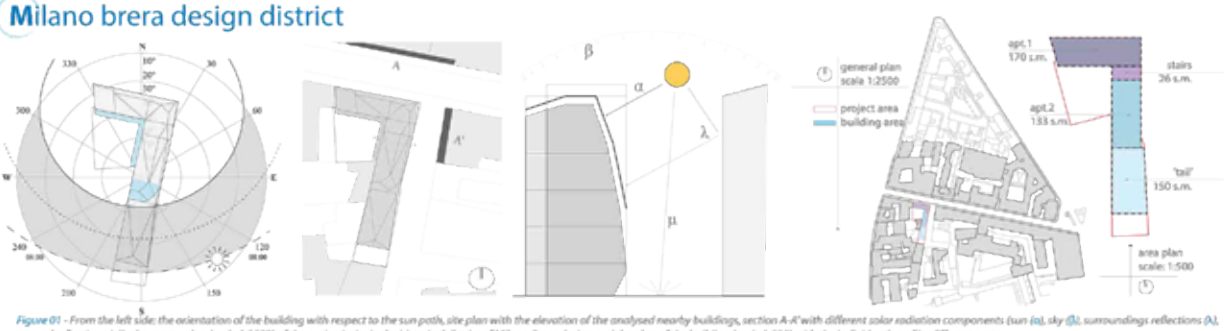


Figure 01 - From the left side: the orientation of the building with respect to the sun path, site plan with the elevation of the analysed nearby buildings, section A-A' with different solar radiation components (sun (α), sky (β), surroundings reflections (λ), ground reflections (μ)), the masterplan (scale 1:2500) of the project's site in the historical district of Milano Brera design and the plan of the building (scale 1:500) with the individuation of its different parts

Methodology

The approach starts from the maximum volume allowed by the city planning regulations, reducing the floor-to-floor height, from 3.80 m to 3.50 m changing the total height of the building from 19.20 [m] to 18.00 [m], in order to reduce the heated volume used for further parametric study for solar access optimization. This volume, called *Vol.A-ref*, is considered isolated and not inserted in any context.

The analyses are based on the **comparison of different scenarios** between *Vol.A* and the Solar Optimized Volume, called *Vol.B*.

The study started by fixing the urban parameters and modifying the shape of the building. All the transformations were conducted **maintaining the volume of the building and the amount of surfaces** exposed to the sky. Each transformation was applied taking into account parameters such as the orientation and inclination of the façades and the usability of the interior space.

The solar optimization process consists of an **iterative parametric process** that, for each façade, considers different slopes and orientations using generative modelling tools, such as *Rhinoceros* and *Grasshopper*; the annual solar radiation analyses were run using a dynamic daylighting simulation tool, such as *Daysim*, considering all **solar radiation components** coming from:
_sun (α)
_sky (β)
_reflections from the surroundings (λ)
_reflection from the ground (μ).

The calculations have been performed using the *DDS (dynamic daylight simulation)* model, allowing for a more detailed analysis. A precise **solar maps analysis**, aimed at locating the most suitable area to install the solar energy system, was conducted using *DIVA for Rhino*: It's a highly optimized daylighting and energy modelling plug-in for Rhinoceros and Grasshopper, based on *Radiance*.

All external **surfaces of neighbouring buildings** were treated with the average colour (pink) of existing districts.

All simulations used the *EnergyPlus* weather data climate file recorded for Milan-Malpensa Airport (lat. 45.27° N, long. 9.11° E).

Initial scenario

01		Vol t_0 [m³]	Vol t_1 [m³]	$\Delta(V_{t0}-V_{t1})$ [m³]	%	Vol_{t2} [m³]	%	$\Delta(V_{t1}-V_{t2})$ [m³]	Orientation
	apt.1	2011.8	1890	121.8	-6.05	1642.72	-13.1	247.28	N-S
	apt.2	2933.3	2621.51	311.79	-10.6	2229.52	-14.95	391.99	E-W
	stairs	897.52	897.52	0	0	638.57	-28.9	258.95	E-W
	'tail'	510.38	480.73	029.65	-5.81	480.73	0	0	E-W
02	TOT.	6353.00	5889.56			4991.54			
03	TOT.	5842.62	5409.03			4510.81			

04	theoretical lost volume [m³]	practice lost volume [m³]
	$Vol(V_t-V_{t1})$ 1331.81	$Vol.(V_t-V_{t2})$ 898.57

Table 01 - Volumes divided for function;
Table 02 - Analyses and comparison between the initial and final optimized volume;
Table 03 - Volumes without the technical volume of the stairs;
Table 04 - Theoretical subtracted volume and practice substracted and re-usable volume.

SAME VOLUMES, SAME SURFACES
Comparable building

VOL_{START}	5.409	[m³]
VOL_{END}	5.410	[m³]
$SURFACE_{START}$	2.340	[m²]
$SURFACE_{START}$	2.353	[m²]

No important differences between initial and final building's volume and surface

GREENHOUSE ADDED

greenhouse.apt. south	193.57	[m³]
greenhouse apt. court	705	[m³]
TOT. greenhouse volume	898.57	[m³]

Amount of volume to divide in two greenhouses toward south

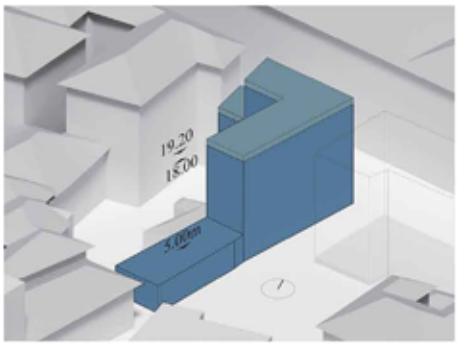
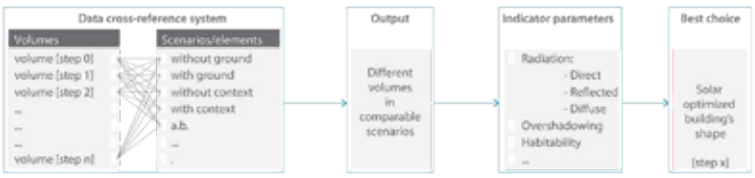


Figure 02 - Comparison of the maximum allowable volume (Vol.0 - height 19.20 m), initial volume (Vol.A - 18.00m)

Solar optimized scenario



05	ambient bounces	ambient division	ambient super sample	ambient resolution	ambient accuracy	specular threshold	direct sampling	direct relays
	3	1000	20	300	0.1	0.15	0.20	2

Table 05 - Set of "rtrace" parameters used for all radiance-based simulations

06	material	radiance	n° of values	R [refl.]	G [refl.]	B [refl.]	specularity	roughness
	concrete plaster	void plastic	005	0.713	0.713	0.1713	0.00	0.00

Table 06 - List of radiance materials

Calculation performed by
DDS (dynamic daylight simulation)
Solar maps analysis:
DIVA for Rhino
It is a daylighting and energy modelling plug-in for **Rhinoceros** and **Grasshopper**, based on **Radiance**.

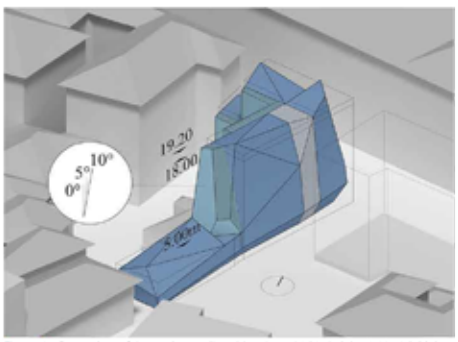


Figure 03 - Comparison of the maximum allowable volume (Vol.0 - height 19.20 m), initial volume (Vol.A - 18.00m) and solar optimized volume (Vol.B).

Results

In the first part of the solar optimization process, **two different sets of simulations** were run:

1th_the total annual radiation on the building envelopes has been calculated, in the condition of simple isolated volumes, in order to define the design with the largest solar irradiation;

2th_the analysed volumes were considered together with the existing urban environment, in order to estimate the overshadowing effects by nearby buildings.

Each simulation's set includes so **two different scenarios:** the ambient bounces (a.b.) are set equal to 3 and ground reflectance (gr. refl.) equal to 0.0 in order to calculate only the solar reflection effect created by the surroundings; while in the second, a.b. is considered equal to 3 and gr. refl. equal to 0.15, to calculate also the ground reflection contribution.

The irradiation values obtained show that the solar optimization permits to **increase the solar radiation** on the building envelope up to **13.9%** considering the isolated scenario. Moreover, the solar gains cover the reduction due to the surroundings (-0.5%) when the building is inserted in the context.

It is important to underline that the ground reflectance affecting *Vol.B*, instead, does not provide the expected increment. The increment of total solar radiation given by the ground reflected component is higher considering the Isolated Scenario (1.1%) and it is lower in the Context Scenario (0.7%). This is caused by the shape of the ground level that has been designed for reducing the summer solar gains in the mediateca.

More solar access analyses were carried out on the **context**. Considering the Context Scenario (ab=3, gr.refl=0.15) and the presence of Vol.B, the North and East façades of the closest building, are affected by an increment of solar radiation of 8.2% for the East façade and 0.7% for the North façade compared to the Vol.A case.

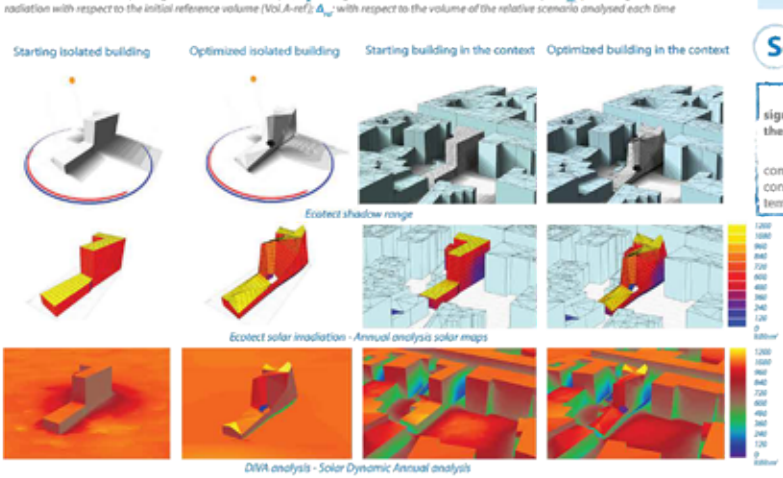
07	shape	ambient bouncing	ground reflection	R [kWh/yr]	R_a [kWh/m²yr]	Δ_{REF} [%]	Δ_{REL} [%]
	Vol.A-ref	3	0	1448946,67	620,53	-	-
	Vol.B	3	0	1536555,12	652,70	6.0	6.0
	Vol.A	3	0.15	1572936,63	673,63	8.6	-
	Vol.B	3	0.15	1649919,11	700,85	13.9	4.9

Table 07 - Isolated Scenario - Results of solar radiation analysis.

08	shape	ambient bouncing	ground reflection	R [kWh/yr]	R_a [kWh/m²yr]	Δ_{REF} [%]	Δ_{REL} [%]
	Vol.A-ref	3	0	1253231,71	536,71	-13,5	-
	Vol.B	3	0	1366164,20	580,32	-5,7	9,0
	Vol.A	3	0.15	1331002,54	574,01	-8,1	-
	Vol.B	3	0.15	1440993,46	612,11	-0,5	8,3

Table 08 - Context Scenario - Results of solar radiation analysis.

R: toeal solar radiation impacting on the external envelope; R_a: average solar radiation on the external envelope; Δ_{REF}: percentage of variation of solar radiation with respect to the initial reference volume (Vol.A-ref); Δ_{REL}: with respect to the volume of the relative scenario analysed each time



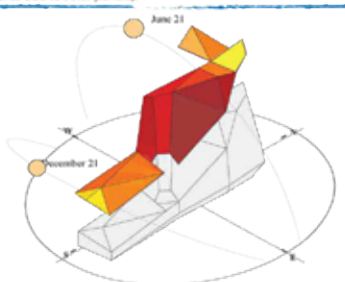
Conclusions

The "solar shell" composed by
27% by of the overall surface
is able to harvest
more than **45%** of the total radiation incident
on the building envelope, as estimated in the Context Scenario (ab=3, gr.refl.=0.15).

Solar shell values

The results confirmed that **a new solar design approach can significantly contribute to the definition of the building's volume and the production of on-site renewable energy.**

Further studies are required to understand the consequences of the complex shapes deriving from the solar optimisation process, in terms of construction (**panelling of surfaces**) and **cooling loads** (increased surface temperatures due to solar panels).



STRATEGIE ENERGETICHE

Nearly Zero Energy Building

capitolo 04

4.1 INTRODUZIONE

fig. 4.240 - *DPR Construction Headquarters in Phoenix, Arizona*

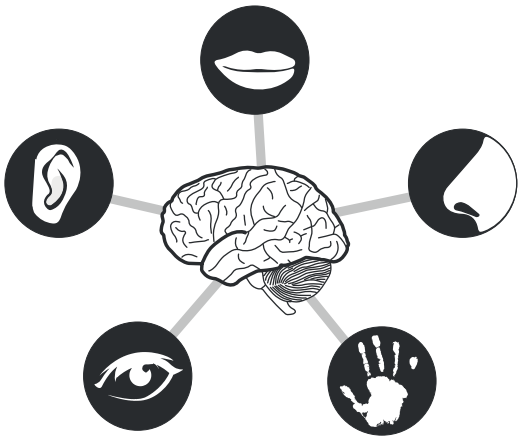
La progettazione di un edificio nasce dall'esigenza di creare ambienti consoni ad ospitare le funzioni per cui nasce un'architettura, ovvero per rispondere alle esigenze dell'uomo nello svolgere determinate attività in una condizione di benessere.

Questo approccio è definibile progettazione *bio-compatibile* intesa come la realizzazione di ambienti capaci di armonizzarsi con le esigenze umane, senza procurare rigetto o rifiuto. E' proprio su questo approccio che si basa l'architettura bioclimatica che si rivolge verso la progettazione di un modello abitativo in grado di soddisfare i requisiti di comfort tramite il controllo passivo del microclima minimizzando l'uso di impianti, e massimizzando l'efficienza degli scambi tra edificio e ambiente.

I parametri che regolano i rapporti con l'*esterno* sono principalmente le caratteristiche geometriche, localizzative e tecnologiche della costruzione.

Il concetto della progettazione bioclimatica è legato alla consapevolezza che vi è un limite nella capacità di sopportazione dell'ambiente e della disponibilità delle risorse naturali. Da diversi anni l'architettura punta alla realizzazione di edifici a basso consumo energetico sviluppando numerosi modelli come esempi in grado di produrre energia sfruttando risorse rinnovabili locali ed aumentando il controllo dei parametri ambientali allo scopo di ottenere un alto grado di benessere interno e di ridurre l'utilizzo degli impianti.

Si definisce comfort ambientale quella particolare condizione di benessere determinata, in funzione delle percezioni sensoriali di un individuo inserito in un ambiente, da temperatura, umidità dell'aria e livello di rumorosità e luminosità rilevati all'interno dell'ambiente.



Da tale definizione si ha una distinzione tra benessere termo-igrometrico, benessere acustico e benessere luminoso.

Il comfort ambientale si identifica con il benessere psicofisico delle persone che vivono un ambiente e consiste in una sensazione dipendente da determinate condizioni ambientali pianificabili e quindi controllabili dal progettista e dagli utilizzatori in fase di

progettazione, realizzazione e gestione dell'edificio.

Le condizioni di comfort dipendono dalle relazioni che si instaurano tra due variabili:

- soggettive, ovvero relative all'attività che l'individuo svolge nell'ambiente ed al tipo di vestiario che indossa;
- oggettive, dipendenti dalle condizioni ambientali, quali temperatura, umidità relativa, temperatura media radiante delle superfici e velocità dell'aria.

In particolare la norma UNI EN ISO 7730 indica due metodologie di valutazione. Anzitutto il *Predicted Mean Vote* (PMV), ovvero *Voto Medio Previsto*, funzione matematica che dà come risultato un valore numerico su una scala da -3 (sensazione di troppo freddo) a +3 (sensazione di troppo caldo) dove lo zero rappresenta lo stato di benessere. Infine il *Percentage of Person Disatisfaied* esprime la percentuale di persone insoddisfatte in un determinato ambiente.

4.1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Evoluzione e stato dell'arte

La pubblicazione del decreto Requisiti Minimi e delle nuove Linee Guida per la certificazione ha portato innovazioni importantissime nella legislazione nazionale in materia di progetto e certificazione energetica degli edifici. Questi cambiamenti riguardano anche i progettisti e i certificatori di Regione Lombardia. Tra le novità più eclatanti in Lombardia vi è il nuovo software CENED+2.0.

Le disposizioni contenute nel testo sono finalizzate ad attuare il risparmio energetico, l'uso razionale dell'energia e l'uso delle fonti energetiche rinnovabili negli edifici, in conformità ai principi fondamentali fissati dalla Direttiva europea 2010/31/EU del 19 maggio 2010 e dal Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e s.m.i., nonché alle disposizioni attuative approvate con DGR del 17/7/2015 N.3868.

A luglio 2015 sono stati pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico tre importanti provvedimenti che completano il quadro normativo nazionale in materia di efficienza energetica degli edifici. Il decreto Requisiti Minimi istituisce le nuove modalità di calcolo della prestazione energetica ed i nuovi requisiti minimi di efficienza energetica per gli edifici nuovi e ristrutturati. Le Linee Guida Nazionali contengono il nuovo modello di APE e di annuncio commerciale validi per tutte le regioni e impongono l'istituzione di un archivio informatico nazionale dei certificati energetici (SIAPE). Un ulteriore decreto aggiorna infine gli schemi di relazione tecnica di progetto (ex Legge 10) per nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti e riqualificazioni energetiche.

La Regione Lombardia si adegua ai contenuti della norma nazionale e nello specifico:

- a partire dal 1° ottobre 2015 è stato introdotto per tutti gli edifici esistenti il nuovo formato di APE, uguale a quello nazionale;
- la procedura di calcolo (allegato H) si basa sulle norme UNI TS 11300 e sui contenuti del DM Requisiti Minimi e delle Linee Guida per la certificazione;
- per il calcolo di progetto è necessario utilizzare l'edificio di riferimento come richiesto dal DM Requisiti Minimi;
- i certificatori energetici sono abilitati in conformità al DPR 75 del 2013, quindi non è più necessaria la frequenza di un corso abilitante per alcune categorie di professionisti iscritti all'ordine.

Rispetto alla norma nazionale vengono poi introdotte alcune novità specifiche per il territorio lombardo:

- è stata pubblicata la delibera regionale di recepimento comprendente la nuova procedura di calcolo conforme alle UNI TS 11300;
- è stato istituito il nuovo catasto energetico regionale dei certificati per la registrazione dei file formato XML con i dati di input e di output;

- a partire dal 1° ottobre 2015 deve essere utilizzato obbligatoriamente il motore di calcolo CENED+2.0, motore per la produzione dei certificati energetici e dei file XML per gli edifici esistenti;
- a partire dal 1° gennaio 2016 è obbligatorio redigere l'APE secondo il nuovo formato anche per gli edifici nuovi;
- a partire dal 1° gennaio 2016 sono stati anticipati di 5 anni (3 per gli edifici pubblici) gli obblighi di progetto degli edifici nZEB a energia quasi zero. In pratica tutti gli edifici di nuova costruzione o le ristrutturazioni rilevanti il cui progetto viene presentato a partire dal 01 gennaio 2016 devono rispondere ai requisiti nZEB.

Ieri

A partire dal 2005 il legislatore, sia in ambito nazionale, sia regionale, anche sulla spinta di un'opinione pubblica allarmata dalle incalzanti informazioni sugli effetti del surriscaldamento del Pianeta, ha prodotto un articolato quadro di normative energetiche rivolte al settore edilizio.

Il 19 agosto 2005 il Governo italiano ha mandato in soffitta la Legge 10/91, emanando il D.lgs. n. 192 Attuazione della Direttiva Europea 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, da applicare agli interventi con richiesta di Permesso di Costruire o Dichiarazione di Inizio Attività (D.I.A.) successivi all'8 ottobre 2005.

Il Decreto è stato poi integrato con il D.lgs. n. 311 del 29 dicembre 2006, nel quale sono stati introdotti criteri ancora più rigorosi nonché un nuovo coefficiente denominato EPi (Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale) che tiene conto della "zona climatica" e del "rapporto di forma" S/V (Superficie su Volume) dell'edificio, ed è correlato a molteplici fattori tra i quali gli isolamenti termici, il rendimento degli impianti e l'esposizione.

Nel corso del 2007 si è registrata, in materia energetica, l'emanazione di due norme da parte della Regione Lombardia (Delibere di Giunta n. 5018 del 26 giugno 2007, n. 5773 del 31 ottobre 2007). Con questi provvedimenti la Lombardia, avvalendosi della potestà legislativa riconosciuta alle Regioni dalla Costituzione, ha avviato nel segmento dell'edilizia una incisiva politica di risparmio energetico.
Questi, in sintesi, i punti principali delle delibere:

- i parametri di riferimento sono rimasti pressoché gli stessi del D.lgs. 311/06, anche se vengono allegate nuove procedure di calcolo per il conferimento della classe energetica dell'edificio con il sistema CENED+, il software sviluppato da Cestec S.p.A., l'organismo regionale di accreditamento in materia;
- sono stati anticipati al 2008 i valori stabiliti per il 2010 dal D.lgs. 311/06 (per interventi con richiesta di Permesso di Costruire o D.I.A. successivi all'1 gennaio 2008) introducendo il coefficiente EPh (Fabbisogno specifico di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'edificio-impianto), espresso in kWh/m^{2}anno;
- è stato previsto l'obbligo di produrre almeno il 50% di acqua calda sanitaria mediante fonti energetiche alternative rinnovabili (solare termico, geotermia, pompe di calore, caldaie a pellet, ecc.) per interventi con richiesta di Permesso di Costruire o D.I.A. successivi al 20 luglio 2007;
- è stato adottato un nuovo sistema per la redazione dell'Attestato di Certificazione Energetica (interventi con richiesta di Permesso di Costruire o D.I.A. successivi all'1 settembre 2007) in sostituzione dell'Attestato di Qualificazione Energetica di cui al D.lgs. 311/06.

Nel dicembre 2008 la Regione Lombardia con la Delibera VIII/8745 ha definito una serie di puntualizzazioni e chiarimenti.

La targa energetica viene rilasciata dall'Organismo di accreditamento e non più dal Comune di competenza ed è realizzata in alluminio riciclato, con colorazione differente

in base alla classe energetica di appartenenza:

oro. classe A+ e A
argento. classi B e C
bronzo. per D, E, F e G

La Lombardia, con la Legge n. 3 del 21 febbraio 2011, ha stabilito che la classe energetica dell'edificio, o di singole unità immobiliari, sia indicata in tutti gli annunci pubblicitari finalizzati alla vendita e all'affitto, con decorrenza dal 1° gennaio 2012.

Il Parlamento italiano, con l'approvazione del D.lgs. n.28 del 3 marzo 2011, ha dato attuazione alla Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili.

In particolare, l'articolo 11 stabilisce che gli edifici di nuova costruzione e le ristrutturazioni rilevanti del parco edilizio esistente devono essere progettati e realizzati in modo tale da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, e di determinate percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

La Direttiva comunitaria 2010/31 sulle prestazioni energetiche nell'edilizia rappresenta una vera e propria pietra miliare nella promozione del miglioramento degli standard di efficienza nei Paesi dell'Unione. Nelle premesse del provvedimento vengono svolte alcune considerazioni che appare utile richiamare per meglio comprendere la posizione del Parlamento Europeo.

Al punto 3 si rileva come «gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia nell'Unione. Il settore è in espansione, e ciò è destinato ad aumentarne il consumo energetico. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti e necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra. Unitamente ad un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili, le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'Unione consentirebbero a quest'ultima di conformarsi al Protocollo di Kyoto e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2° C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20% al di sotto dei livelli del 1990 e del 30% qualora venga raggiunto un accordo internazionale».

Al punto 5 si richiamano la risoluzione del Parlamento Europeo del 3 febbraio 2009 sul secondo riesame strategico della politica energetica, mediante la quale si chiede 'di rendere vincolante l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020', e la Direttiva 2009/28/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo, che prevede la 'promozione dell'efficienza energetica nel quadro dell'obiettivo vincolante di fare in modo che l'energia da fonti rinnovabili copra il 20% del consumo energetico totale dell'Unione entro il 2020'.

L'art. 9 della Direttiva Edifici a energia quasi zero delinea ambiziose politiche di efficienza energetica. Gli Stati membri dovevano provvedere affinché:

- entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero;
- a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano a energia quasi zero.

Il Governo italiano ha avviato il percorso per conseguire l'obiettivo degli edifici a energia quasi zero con il Decreto Legge n. 63 del 4 giugno 2013, che ridisegna l'architettura dell'efficienza energetica in edilizia modificando in più punti il D.lgs. 192/2005.

L'articolo 5 del D.L. recepisce i termini definiti dalla Direttiva europea (31 dicembre 2018 per la Pubblica Amministrazione e 1° gennaio 2021 per il settore privato) a partire dai quali gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero, e impegna i ministri competenti a definire, entro il 31 dicembre 2014, il Piano d'azione che dovrà

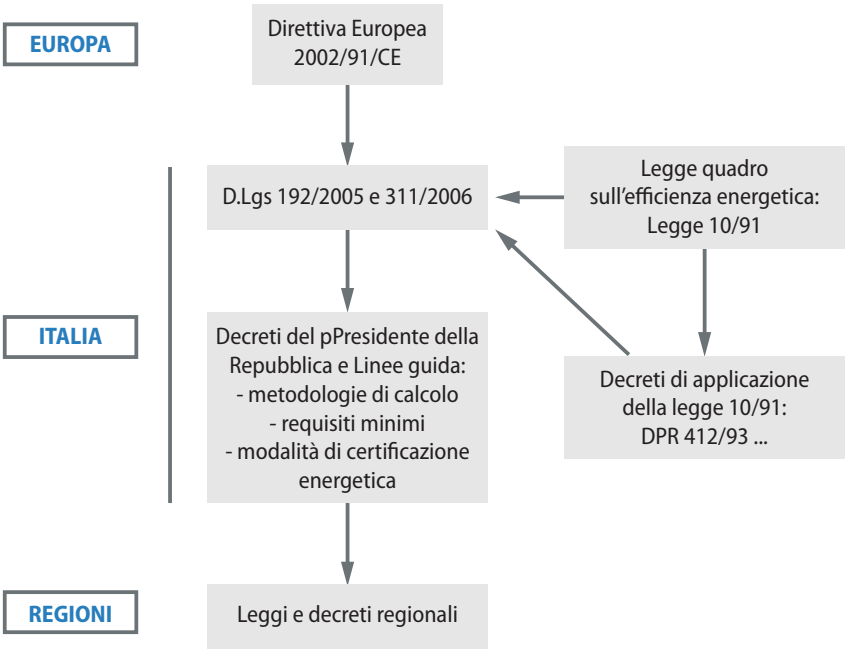
comprendere, tra l'altro, i seguenti elementi:

- l'applicazione della definizione di edifici a energia quasi zero alle diverse tipologie di edifici e indicatori numerici del consumo di energia primaria, espresso in kWh/m^2 anno;
- le politiche e le misure finanziarie previste per promuovere gli edifici a energia quasi zero, comprese le informazioni relative alle misure nazionali per l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici, in attuazione della Direttiva 2009/28/CE;
- gli obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015.

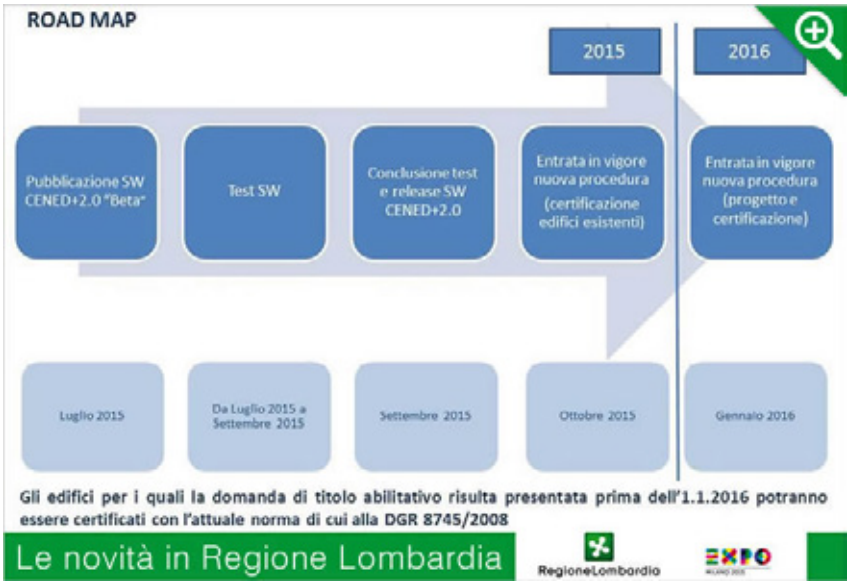
Entro il 30 aprile 2014, il Ministro dello Sviluppo Economico, sentito il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, si impegnava a redigere un elenco delle misure finanziarie atte a favorire l'efficienza energetica degli edifici e la transizione verso quelli a energia quasi zero.

Con lo scopo di semplificare le procedure, l'Ente Nazionale Italiano di Unificazione ha redatto le seguenti norme:

- UNI 10349: 'Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici'
- UNI EN 10339: 'Impianti aeraulici a fini di benessere'
- UNI/TS 11300 : 'Prestazione energetica degli edifici'
  - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
  - Parte2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
  - Parte3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva
  - Parte4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

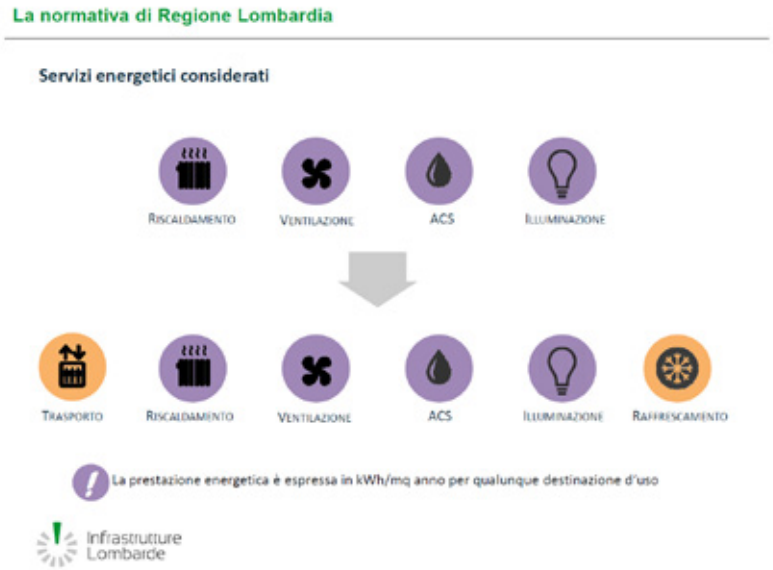


Oggi



Decreto legislativo del 26 giugno 2015 (decreto Requisiti Minimi)

Il decreto del 26 giugno 2015 del Ministro dello sviluppo economico di concerto con i Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, delle infrastrutture e dei trasporti, della salute e della difesa, reca "applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari", ai sensi dell'articolo 4, comma 1, del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, con relativi allegati 1 (e rispettive appendici A e B) e 2. I criteri generali si applicano agli edifici pubblici e privati, siano essi edifici di nuova costruzione o edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione.



DGR 3868 del 17/7/2015 e Decreto del dirigente unità organizzativa 6480 del 30/7/2015

Regione Lombardia con la DGR n. 3868 del 17 luglio 2015 avente per oggetto "Disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici ed il relativo Attestato di Prestazione Energetica a seguito dell'approvazione dei Decreti Ministeriali per l'attuazione del decreto legislativo 192/2005" recepisce i Decreti interministeriali del 26 giugno 2015, attuativi del D.Lgs 192/2005 così come modificato dalla L. 90/2013, pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale, che a loro volta hanno recepito la Direttiva 31/2010/CE. La DGR viene attuata dal Decreto del dirigente unità organizzativa n. 6480 del 30/07/2015 che, completo dei suoi allegati, diviene il nuovo "testo unico" per l'efficienza energetica degli edifici in Regione Lombardia.

DGR 176 del 12/01/2017

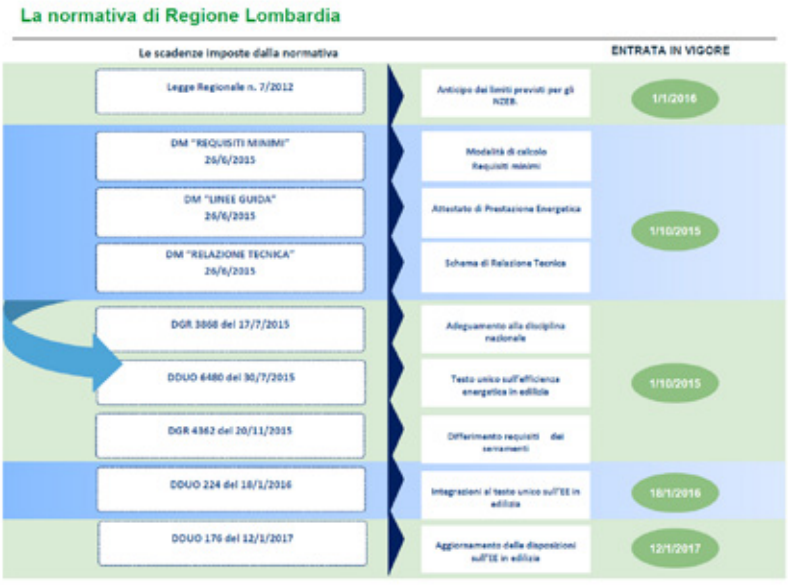
E' stato approvato da Regione Lombardia il Decreto n. 176 del 12 gennaio 2017 "Aggiornamento delle disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici e al relativo attestato di prestazione energetica, in sostituzione delle disposizioni approvate con i decreti n° 6480/2015 e n° 224/2016".

Questo decreto sostituisce il DDUO 6480 di luglio 2015 e integra nel testo le modifiche apportate dal Decreto 224 di gennaio 2016 più alcune altre specifiche.

In data 24 gennaio 2017 è stato pubblicato sul BURL della regione Lombardia il DDUO 176 del 12 gennaio 2017, nuovo testo unico sull'efficienza energetica degli edifici, che sostituisce il DDUO 6480/2015. Vengono integrate nel nuovo testo le modifiche introdotte dal DDUO 224/206, insieme ad alcune precisazioni e modifiche al testo precedente.

DGR 2456 del 08/03/2017

Con decreto regionale n.2456 del 8 marzo 2017, sono state integrate e riapprovate le disposizioni regionali che disciplinano l'efficienza e la certificazione energetica degli edifici. Le differenze principali riguardano la valutazione del coefficiente medio di scambio termico H't nella ristrutturazione importante di 2 livello, la valutazione della quantità di energia termica prodotta dalle pompe di calore oltre alcuni aspetti legati agli attestati di certificazione energetica.



4.2 IL COMPORTAMENTO PASSIVO

Per comportamento passivo di un edificio si intende il fenomeno dovuto ad una situazione di squilibrio tra l'ambiente interno ed esterno che instaura un meccanismo di scambio di energia termica. La direzione dei flussi che si creano è legata al secondo principio della termodinamica che enuncia l'impossibilità dello scambio di calore tra un corpo freddo verso un corpo caldo senza compiere lavoro. Il termine passivo indica uno scenario in cui l'edificio è libero di scambiare con l'ambiente energia per mezzo dell'involucro (sia esso trasparente che opaco), quindi non considerando l'utilizzo di macchine le quali, per funzionare, consumino energia. I fenomeni attraverso i quali avviene l'equilibrio termico tra edificio ed ambiente sono i seguenti:

- riscaldamento delle superfici esterne dovuto all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- guadagni di calore attraverso le finestre dovuti all'irraggiamento solare (diretto, diffuso, riflesso);
- scambi convettivi fra superfici esterne ed aria ambiente (dipentemente dalla temperatura dell'aria, dal vento e dalla presenza o meno di pioggia);
- scambi radiativi fra superfici esterne ed ambiente (dipendenti da temperatura ed remissività del cielo, dal terreno e dalle ostruzioni).

Gli scambi radiativi avvengono attraverso i seguenti canali di radiazione:

- diretta a lunghezza d'onda piccola proveniente dal sole;
- diffusa a lunghezza d'onda piccola proveniente dalla volta celeste;
- a piccola lunghezza d'onda riflessa dal terreno circostante;
- a grande lunghezza d'onda riflessa dal terreno dagli oggetti circostanti;
- a grande lunghezza d'onda proveniente dal cielo;
- a grande lunghezza d'onda emessa dall'edificio verso cielo, verso il terreno e verso gli oggetto circostanti.

Seguendo gli approcci contemporanei alla progettazione architettonica passiva, *Il Cigno* è stato concepito analizzando le condizioni ambientali del sito di progetto, considerandone le caratteristiche morfologiche, distributive, dimensionali e termofisiche.

Con lo scopo di ottenere un alto grado di comfort e di ridurre al minimo l'utilizzo degli impianti (seppure essi alimentati con fonti rinnovabili), le superfici di scambio con l'ambiente esterno sono state progettate al fine di limitare al minimo gli scambi termici, attenuando e spostando nel tempo la radiazione incidente durante la stagione estiva e riducendo il calore uscente durante la fase invernale. Le linee guida di progetto rispettano gli standard trasmessi e sviluppati dal Politecnico di Milano di efficienza energetica. Gli obiettivi teorici a quali si è fatto riferimento in fase di progetto sono espressi di seguito.

4.2.1 SOSTENIBILITÀ DEL SITO

Un attenta analisi dei materiali da costruzione scelti e la decisione iniziale di adottare strategie tecnologiche leggere a secco favoriscono il controllo dell'inquinamento prodotto dall'attività di costruzione e di utilizzo dell'edificio. Particolare attenzione è stata volta nell'incentivazione all'utilizzo di trasporti ecosostenibili pubblici perchè crediamo che la società contemporanea non debba dipendere da mezzi di trasporto privati, costosi sia per l'individuo che per la società. Come già approfondito nel capitolo relativo alle scelte architettoniche, i parcheggi richiesti dal bando di concorso sono stati omessi come critica al contemporaneo approccio dell'edificio, basato puramente a favore dell'utilizzatore più che per la collettività.

L'effetto di *isola di calore urbana* è stato valutato e la scelta e l'ottimizzazione della forma del *Cigno* favoriscono la riflessione dell'irraggiamento verso la volta celeste, invece che verso gli edifici adiacenti come normalmente accade negli edifici a forma

parallelepipeda.

4.2.2 RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

La volontà di progettare un NZEB ha richiesto l'utilizzo di elementi tecnici ad elevatissime prestazioni termiche e di tenuta all'aria con lo scopo di abbattere i consumi relativi al riscaldamento ed al raffrescamento. Il concetto di base è quello di ottenere un involucro tanto efficiente da riuscire a garantire le condizioni di comfort ambientale conservando all'interno dell'edificio tutti i guadagni termici gratuiti disponibili. In particolare sono state inizialmente definite le prestazioni dell'involucro che rispettino gli standard *Passivhaus*:

- iperisolamento delle chiusure opache:

sono stati scelti valori di termotrasmittanza (U) di 0,10 W/m^{2}k per le coperture, 0,13 W/m^{2}k per le pareti perimetrali verticali e di 0,20 W/m^{2}k per i solai su spazi non riscaldati. Con lo scopo di studiare ed analizzare materiali di ultima generazione, sono stati utilizzati prevalentemente isolanti in Polyisocianurato espanso con altissime prestazioni (λ=0,023 W/mk);

- vetrate ad alte prestazioni dimensionate per la captazione solare:

le finestre scelte sono composte da un serramento ad elevate prestazioni termiche (ed isolato) ed un triplo vetro basso emissivo con gas Kripton. Hanno una trasmittanza complessiva di 1,2-1,4 W/mk ed un fattore solare (g) intorno al 50%;

- tenuta all'aria e ventilazione meccanica:

affinchè i disperdimenti di calore siano ridotti al minimo, l'intero involucro è stato ricorperto con continuità da una telo di tenuta all'aria, impermeabile all'acqua e le finestre sono provviste di guarnizioni di tenuta interposte tra la sottostruttura metallica ed il telaio fisso. In questo modo si è ottenuto un involucro a tenuta ed i ricambi d'aria sono interamente gestiti da un meccanismo di ventilazione forzata con recuperatore di calore entalpico.

fig. 4.241 - *Analisi termica di un infisso ad alte prestazioni termiche*

4.2.3 BENESSERE PSICOFISICO E SICUREZZA DELLA PERSONA

La scelta di utilizzare un impianto di ventilazione forzata favorisce la qualità dell'aria interna degli appartamenti i quali non sono a diretto contatto con l'inquinamento esterno di Milano, sarà quindi opportuno provvedere ad organizzare un programma di manutenzione per mantenere puliti i relativi filtri.

Le partizioni orizzontali sono costituite da un pavimento galleggiante il cui isolamento a calpestio è realizzato da 2 cm di lana di roccia ad alta densità ed 1 cm di polietilene. In questo modo i rumori da calpestio tra gli appartamento sono stati di molto ridotti. Inoltre gli appartamento sono attrezzati con un controsoffitto isolato acusticamente.

Tra le stanze degli appartamenti sono state disposte partizioni intere ad alte prestazioni acustiche connesse al sottofondo alleggerito tramite una guida protetta da uno spessore in neoprene. Questa scelta è a sfavore della flessibilità, ma aumenta le prestazioni acustiche dell'elemento.

I serramenti sono stati scelti anche in funzione delle loro prestazioni acustiche per abbattere i rumori proveniente dal traffico milanese.

Inoltre i materiali scelti per la realizzazione delle pareti interne sono stati scelti in base al loro tracciato caratteristico (tossicologico).

Tra le piante coltivate all'interno della serra vi sono specie come il Chrysanthemum o il Nephrolepis exaltata che sono in grado di rimuovere i bioeffluenti (etanolo, acetone metanolo, etere acetico) emessi dall'uomo durante la respirazione, la formaldeide presente nell'aria (una delle tossine più comune all'interno di ambienti chiusi) e di sopprimere le spore di muffe e batteri ambientali.

fig. 4.242 - *Vision serra botanica e corte interna*

fig. 4.243 - *Felce di Boston (Nephrolepis exaltata)*

Materiali naturali e risorse

L'utilizzo della tecnologia stratificata a secco ha numerosi vantaggi tra cui la smontabilità che permette di riutilizzare la maggior parte degli elementi di cui è composta l'architettura.

La scelta dei materiali, oltre che dal loro grado di prestazione, sono stati scelti in funzione della loro riciclabilità oppure in uno stadio già riciclato (come ad esempio gli isolamenti acustici all'interno delle contropareti e nei sottosoffitti sono stati ipotizzati in fibra di poliestere derivante dal riciclo delle bottiglie di plastica)

Con il principale scopo di creare un'architettura sostenibile anche dal punto di vista ecologico, le residenze sono state attrezzate con una serra botanica la quale contribuisce a ridurre la dispersione durante i mesi invernali.

4.2.4 LA SERRA SOLARE

La serra è un elemento captante che basa il suo funzionamento sull'effetto serra, ossia il fenomeno di riscaldamento di uno spazio esposto ai raggi solari. L'accumulazione di calore è dovuta al fatto che i raggi incidenti scaldano le superfici che li intercettano trasformando la radiazione in calore. In questa nuova forma l'energia termica non è capace , come quella solare, di riattraversare l'involucro trasparente e resta all'interno della serra potendosi disperdere solo attraverso fenomeni conduttivi e convettivi, ma non più radiativi.

La facciata della serra è stata progettata per essere realizzata attraverso una facciata in montanti-traversi pannellata con vetri stratificati singoli. Il vetro, pur essendo trasparente alla radiazione dello spettro solare, è opaco alla radiazione infrarossa. Uno spazio protetto da un vetro riceve la radiazione dal sole ma la radiazione infrarossa da esso emessa verso il cielo (radiazione che tende a raffreddarlo) viene intercettata e assorbita dal vetro. Circa la metà della radiazione viene riemessa verso il basso.

Durante le fasi preliminari del progetto ed in concomitanza con la scelta dell'inserimento di questo elemento, è stata effettuata un'analisi della serra botanica storica che era situata nei giardini dell'orto botanico di Brera (anch'essa realizzata con una facciata in montanti-traversi) e soprattutto delle diverse tipologie comportamentali disponibili in architettura.

Tra le varie tipologie di serra analizzate, quella adottata è la *loggia vetrata a scambio radiante con accumulo a solaio*.

A causa della morfologia del lotto di progetto, non è stato possibile sfruttare la facciata Sud al pieno delle sue capacità captanti, progettando quindi la serra principalmente per la coltivazione.

Comportamento invernale

Durante il periodo invernale, la serra funge da spazio buffer tra gli ambienti interni delle residenze disposte a Nord del lotto di progetto riducendone le dispersioni verso l'esterno. Seppur non ottimizzata per l'accumulo di energia solare a causa dell'ostruzione del volume Est, durante le ore del primo pomeriggio la serra accumula calore attraverso i solai gettati e le pareti interne, irraggiando gli ambienti interni e diminuendo il flusso di calore uscente dagli appartamenti.

La profondità degli impalcati ad ogni piano è studiata al fine di consentire l'accesso alla facciata di tutta la radiazione solare durante il periodo invernale.

Il corretto utilizzo della serra solare durante il periodo freddo prevede di mantenere chiuse le finestre verso la serra al fine di evitare scambi troppo veloci dei flussi di calore che andrebbero dispersi attraverso la vetrata.

Lo sfasamento termico del solaio della serra solare aiuta a mantenere la temperatura superiore alla temperatura esterna limitando anche le dispersioni degli appartamenti.

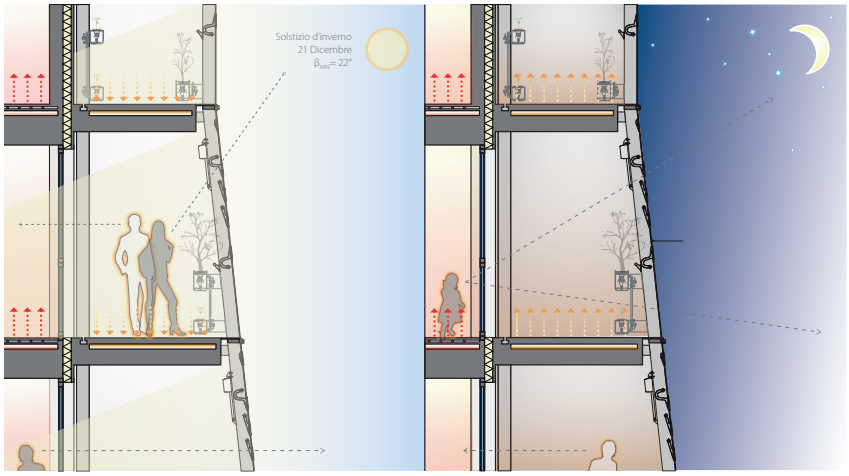


fig. 4.244 - *Schematic Design - Serra comportamento invernale*

Comportamento durante la mezza stagione

Durante la stagione intermedia i solai a sbalzo intercettano la maggior parte della radiazione solare limitando l'accumulo di energia termica da parte delle facciate.

Una della caratteristiche della mezza stagione è l'elevata e veloce escursione delle temperature.

Al fine di garantire un comfort termico e il regolare utilizzo degli impianti, la serra è stata progettata per essere flessibile.

Le grandi vetrate sono suddivise in sei moduli di cui i quattro centrali sono apribili meccanicamente e consentono la ventilazione della serra ed evitano gli eventuali surriscaldamenti.

Durante la stagione intermedia in presenza di temperature comprese tra 14 ed i 18 gradi esterni, è consigliabile tenere aperti i serramenti che affacciano nella serra e renderla comunicante con gli ambienti interni. In questo modo viene innescato

il fenomeno della *Cross Ventilation*, da un ambiente più caldo rivolto a Sud ad uno più freddo verso Nord. L'eventuale surriscaldamento può essere quindi asportato sfruttando questo principio.

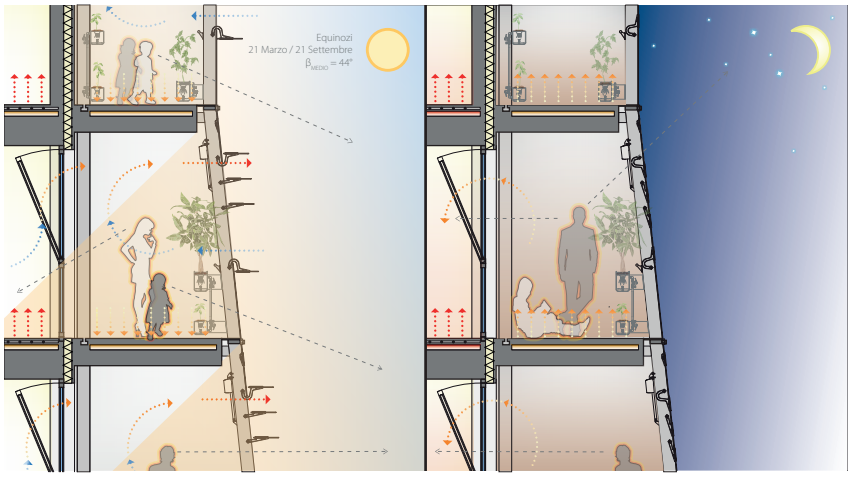


fig. 4.245 - *Schematic Design - Serra comportamento mezza stagione*

Comportamento estivo

La maggior parte della radiazione solare estiva viene intercettata dai solai a sbalzo che fungono così da schermatura orizzontale per la facciata degli appartamenti.

La radiazione solare che colpisce l'interno della serra viene intercettata dalle piante che possono così svolgere il loro ciclo di fotosintesi clorofilliana e schermare al loro volta il resto della serra.

Aprendo le lamelle che compongono la facciata della serra, questa diventa completamente aperta verso l'esterno diventando a tutti gli effetti una loggia in cui la temperatura interna è la stessa di quella dell'aria esterna, quindi il comfort degli appartamenti non ne viene influenzato.

Durante le ore notturne l'aria esterna circola liberamente all'interno della serra e degli appartamenti asportando il calore in eccesso che viene irradiato durante la notte grazie allo sfasamento termico degli elementi tecnici di chiusura.

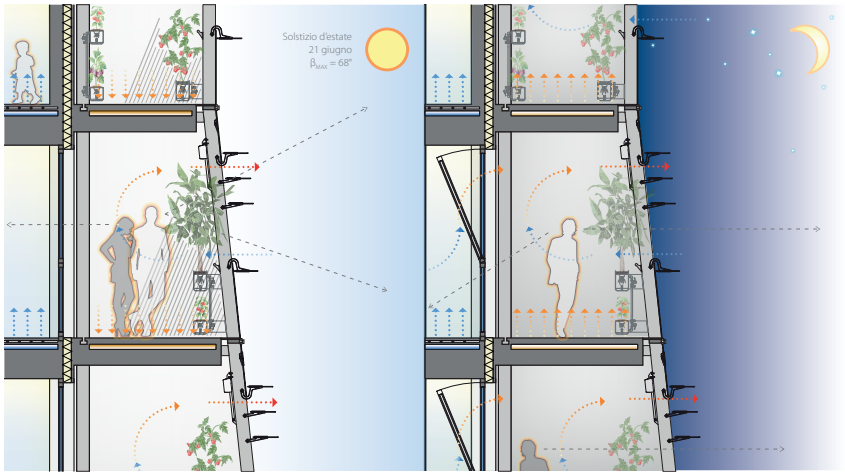


fig. 4.246 - *Schematic Design - Serra comportamento estate*

4.3 LE STRATEGIE ATTIVE - GLI IMPIANTI

Le contemporanee tecnologie passive dell'involucro sono in grado di ridurre notevolmente il fabbisogno termico dell'edificio, ma non consentono di annullare la presenza degli impianti, i quali devono fornire, seppure in maniera molto ridotta rispetto agli edifici tradizionali, l'energia necessaria per fabbisogno energetico.

Il sistema impiantistico deve controllare e mantenere inalterati i parametri ambientali necessari a garantire l'alto livello di comfort prefissato negli obiettivi preliminari di progetto.

La scelta dell'impianto che alimenta *Il Cigno* è stato valutato a seguito dell'analisi delle diverse tipologie presenti sul mercato.

In generali tali sistemi si presentano composti da un generatore di calore/ raffrescamento ed un complesso di distribuzione.

Per quanto riguarda la produzione di calore si riscontra un numero sempre più crescente di fonti rinnovabili protese a soppiantare negli anni a venire il consumo di forme di energia d'origine fossile (derivate dalla combustione di gas, carbone e petrolio) con fonti rinnovabili (vento, sole, geotermia, biomasse, etc.).

In ambito edilizio lo sfruttamento di queste fonti inesauribili trova molteplici applicazioni. Un esempio importante è la diffusione di impianti per lo sfruttamento

dell'energia solare termica, cioè quella derivata dalla conversione dell'energia radiante del sole in energia termica mediante il ricorso a collettori solari. L'applicazione più diffusa di tale sistema consiste nel riscaldamento di acqua igienico-sanitaria e sta prendendo piede anche l'uso di questa tecnologia per i sistemi di riscaldamento degli ambienti.

Un'altra forma di energia sempre più sfruttata in edilizia è quella geotermica a bassa entalpia, cioè quella rivolta allo sfruttamento del sottosuolo come serbatoio termico dal quale estrarre calore durante la stagione invernale, e al quale cederne durante la stagione estiva. L'uso più comune di tale fonte nelle applicazioni edilizie è quello abbinato ad una pompa di calore per il quale risultano efficienti anche fluidi a bassa temperatura.

Grande diffusione sta avendo inoltre lo sfruttamento delle biomasse, cioè la produzione di energia dalla combustione di un qualsiasi materiale biologico in alternativa alle normali caldaie a gas. Sono considerate biomasse il legno in tutte le sue forme, la paglia, i residui agricoli di tipo fibroso, i rifiuti raccolti a livello urbano e industriale, i vegetali e i fanghi essiccati provenienti da depurazione delle acque o da deiezioni animali. L'energia normalmente prodotta è di tipo termico, mentre la produzione contemporanea di calore ed energia elettrica si definisce cogenerazione. In questo caso la produzione simultanea permette grande efficienza grazie al recupero di calore dai fumi di scarico e dagli oli di lubrificanti del generatore di corrente elettrica.

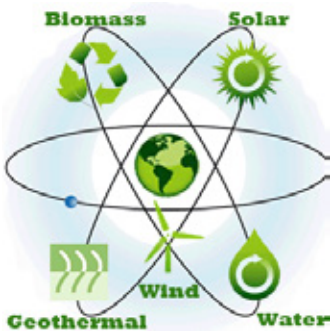


fig. 4.247 - *Interazione tra le risorse*

tab. 4.27 - *Vantaggi e svantaggi impianti dei diversi riscaldamento/raffrescamento*

IMPIANTO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Caldaie a biomassa	- robustezza - semplicità di istallazione - funzionamento ad alta temperatura - costo di istallazione limitato	- problemi di sicurezza (incendi ed emissioni di fumi) - rendimento limitato - vincoli per i locali di istallazione
pompe di calore	- rendimenti elevati - assenza di problemi dovuti a incendi od emissioni tossiche - utilizzabili per il condizionamento estivo	- costi elevati di istallazione - necessità di istallazione all'aperto - temperature di produzione di acqua calda basse
Pannelli solari	- producono acqua calda senza sostanziale consumo di energia	- devono essere istallati all'aperto - richiedono una discreta manutenzione

Oltre ai vantaggi assoluti delle diverse tipologie di impianti sono state considerate le condizioni in cui essi devono operare.

Innanzitutto è necessario considerare l'edificio suddiviso in due zone termiche distinte:

- residenze
- Me-library

Le due zone hanno necessità di condizionamento diverse. Al fine di limitare i consumi dell'edificio ed ottimizzare i rendimenti ed i costi dei macchinari, gli impianti sono stati pensati per essere centralizzati, avremo quindi una centrale termica per ogni destinazione d'uso.

Prima di analizzare gli impianti termici è necessario fare riferimento all'impianto fotovoltaico di cui è dotato *Il Cigno*. Quest'impianto offre una notevole quantità di energia elettrica tale da alimentare non solo il fabbisogno elettrico dell'edificio, ma soprattutto gli impianti termici e di ricircolo dell'aria.

4.3.1 LA CENTRALE TERMICA - RESIDENZE

fig. 4.249 - *Sezione impiantistica delle residenze*

L'impianto di riscaldamento e raffrescamento delle residenze non deve necessariamente funzionare durante tutto l'arco della giornata, quindi un requisito che la centrale termica deve soddisfare è la flessibilità e, partendo da una condizione di non esercizio, deve essere in grado di ripristinare la condizione di comfort ottimale velocemente.

Pompa di calore geotermica

L'impianto adottato per le residenze è composto da una pompa di calore la quale è alimentata elettricamente dall'impianto fotovoltaico e termicamente da sonde geotermiche a circuito.

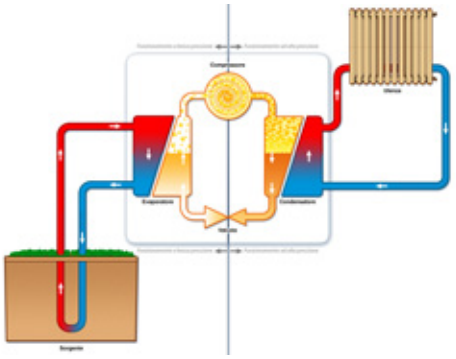


fig. 4.248 - *Schema di funzionamento di una pompa di calore geotermica*

La pompa di calore geotermica a circuito chiuso utilizza il terreno come fonte o come dispersore di calore.

A differenza delle pompe di calore ad aria, quelle geotermiche possono funzionare in raffreddamento anche in modalità passiva. Ovvero esse estraggono calore dall'edificio pompando nel sistema l'acqua fredda o il liquido antigelo, senza l'esecuzione del ciclo frigorifero, abbattendo notevolmente i consumi durante il periodo estivo.

Per questo motivo è stata scelta questa tipologia di pompa invece che una pompa di calore ad aria, la quale ha dei vantaggi notevoli per quanto riguarda i costi di installazione, ma la necessità di consumare energia durante il periodo estivo per il raffrescamento.

Le pompe di calore geotermiche di questo tipo hanno un Coefficiente di Prestazione (COP) variabile da 3,1 a 4,9 ovvero il rapporto tra energia resa (alla sorgente di interesse) ed energia consumata (in questo caso elettrica).

Questo significa che per ogni kWh di energia elettrica consumato, la pompa di calore geotermica fornisce calore da 3,1 a 4,9 kWh a seconda del modello.

Il costo di installazione di questa tipologia di impianto può essere fino a due volte maggiore di quello di una caldaia tradizionale e dovrebbe essere recuperato, grazie ai risparmi energetici, in un tempo attorno ai 5 anni. Si tenga presente che le pompe geotermiche permettono mediamente un risparmio del 40% di energia rispetto a quelle ad aria ed hanno un'aspettativa di vita di circa 20/25 anni (maggiore rispetto a quelle ad aria in quanto il compressore è sottoposto a minori sollecitazioni meccaniche ed è protetto dall'ambiente).

Vi sono numerosi produttori che offrono in accoppiamento alla pompa di calore, un bollitore in grado di rispondere alle esigenze di riscaldamento ed accumulo di acqua calda sanitaria (ACS) degli appartamenti.

fig. 4.251 - *Pavimento radiante*

Terminali di distribuzione - Pannelli radianti

L'impianto a sola acqua scelto è in grado di gestire unicamente una delle variabili ambientali: la temperatura. Si possono individuare due principali tipologie di terminali di distribuzione del calore: sistemi a pannelli radianti o sistemi a radiatori. Entrambi in grado di trasmettere calore per convezione ed irraggiamento.

I primi sfruttano una massa inerziale estesa consentendo la circolazione del fluido vettore a temperature ridotte (30-40°C) e comportando quindi minori spese di funzionamento.

I radiatori invece, essendo sistemi localizzati, richiedono temperature d'esercizio assai più elevate (70-80°C) comportando quindi maggiori consumi e l'impossibilità di accoppiamento con sistemi di produzione di calore a basse temperature (pompe di calore).

Il sistema di distribuzione del calore progettato sono i pannelli radianti a pavimento. Essi sono composti tubazioni in polietilene reticolato che scorrono all'interno di pannelli in polistirene ad alta densità all'interno degli appartamenti. Con lo scopo di ottenere un'omogeneità della sensazione di comfort, le tubazioni avranno un passo minore in prossimità delle pareti perimetrali, al fine di limitare lo scambio radiativo tra l'uomo e la parete.

Questa tipologia di terminale è ottimizzata per la centrale di condizion amento scelta in quanto le sue temperature di esercizio sono basse e permette al compressore di non lavorare a basso regime.

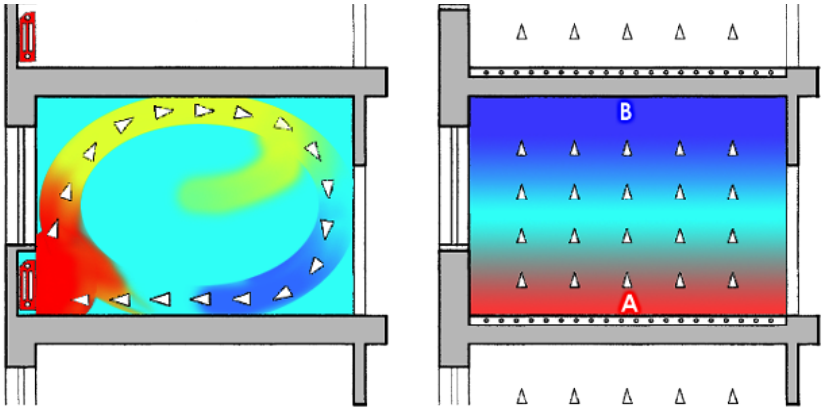


fig. 4.250 - *Confronto tra la distribuzione utilizzando radiatori (a sinistra) e pannelli radianti (a destra)*

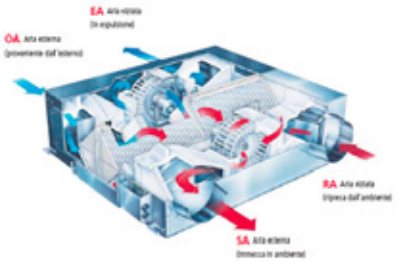


fig. 4.252 - *Schema recuperatore di calore*

I vantaggi che offre questa tecnologia sono:

libertà nell'arredo. la presenza di radiatori può limitare la creatività progettuale degli architetti. Al contrario, con i pavimenti radianti si liberano spazi e si può sfruttare ogni angolo del locale.
comfort abitativo. Il benessere che si percepisce in un ambiente riscaldato con pannelli radianti è il massimo ad oggi ottenibile. La temperatura è uniforme e il caldo non si stratifica a soffitto.
bassi costi di esercizio. è un sistema a bassa temperatura, con tubazioni o conduttori elettrici che lavorano a circa 28-40 °C (nei comuni caloriferi: 70-80 °C).
dotazioni. non necessitano né di caldaia, né di canna fumaria e non hanno bisogno di nessun tipo di manutenzione.

In regime invernale, questa tipologia di terminale offre la migliore omogeneità di temperatura all'interno dell'appartamento seppure meno efficiente durante il periodo estivo, al contrario dei pannelli a soffitto radiante. Sulla base della nostra esperienza personale abbiamo preferito progettare un impianto in grado di offrire maggior comfort durante l'inverno a sfavore del regime estivo.

La ventilazione forzata con recuperatore di calore

Un edificio con un involucro con prestazioni elevate ed a tenuta all'aria, necessita di garantire i ricambi d'aria orari senza aprire le finestre. In quel caso, tutto il calore prodotto dalla centrale termica e dai guadagni solari andrebbe disperso nell'ambiente senza avvantaggiarsi dei sistemi tecnologici fin'ora progettati.

Per questo scopo è stato progettato un impianto di ventilazione forzata a doppio flusso con recuperatore entalpico statico composto da una macchina ventilante (disposta all'interno del vano impianti), canali di pescaggio disposti in copertura della zona delle biblioteca destinata ai piccoli e canali di distribuzione per l'immissione e la presa. La risalita dei canali d'areazione avviene, come per gli altri impianti, attraverso il vano scale.

Il corretto dislocamento dell'impianto di ventilazione prevede l'immissione dell'aria tramite delle bocchette di immissione disposte verso il lato Sud degli appartamenti in ogni locale diverso dalla cucina e dal bagno. La bocchetta di aspirazione invece è disposta all'interno dei bagni e delle cucine, ovvero i locali che producono una maggior quantità di inquinanti. La circolazione dell'aria tra i vari ambienti è garantita grazie al sopralzo delle porte di cucina e bagno (0,5 cm). La velocità dell'aria deve rispettare gli standard normativi descritti nella UNI 10339 di 0,05-0,15 m/s in fase di riscaldamento che raffrescamento e 0,05-0,20 durante il raffrescamento. La portata di ricambio dell'aria per ogni appartamento deve rispettare almeno 0,5 vol./h.

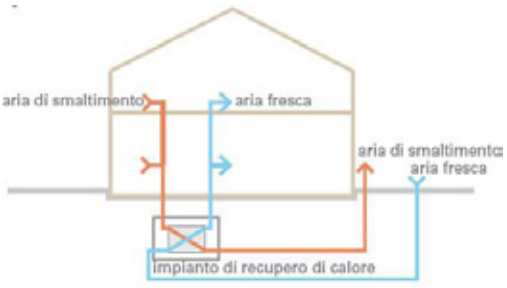


fig. 4.253 - *Schema impianto di ventilazione a doppio flusso con recuperatore di calore*

Al fine di agevolare il ricircolo dell'aria in stagione estiva ed intermedia, questo impianto collabora con l'effetto cross-ventilation progettato principalmente per il dilavamento notturno del calore accumulato durante la giornata.

4.3.2 LA CENTRALE TERMICA - Me LIBRARY

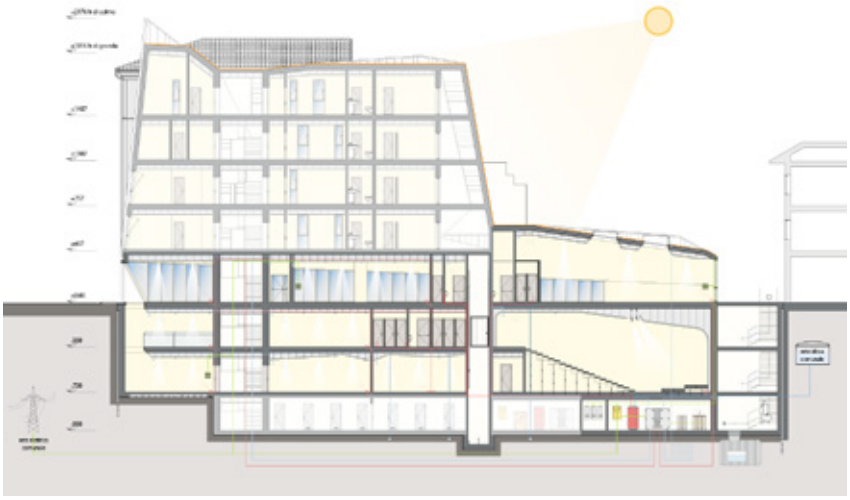


fig. 4.254 - *Sezione impiantistica - Mediateca*

Il sistema di generazione di calore realizzato per le residenze risulta poco adatto ad ambienti in cui è peculiare il controllo di umidità e salubrità dell'aria in ambienti estesi, come avviene all'interno delle biblioteche. In generale questi sistemi risultano poco adatti ad ambienti di grandi dimensioni ad uso saltuario non continuativo.

La morfologia della mediateca identifica molti spazi a doppia altezza che offrono il vantaggio di mostrare all'utilizzatore il layout distributivo.

L'utilizzo di pannelli radianti anche per la mediateca avrebbe generato una variazione delle temperature difficilmente controllabile e la necessità di accoppiare quest'impianto con un'altro sistema per il controllo dei parametri di umidità dell'aria.

Unità di trattamento aria

Per i motivi descritti nell'introduzione, il generatore di calore scelto è l'Unità di Trattamento Aria. In questa tipologia di impianti detti a tutt'aria il fluido vettore è il mezzo per operare molteplici controlli ambientali. Attraverso l'aria, trattata da un unità centrale ed immessa in ambiente, vengono gestiti simultaneamente la temperatura dell'aria, il grado di umidità relativa e la salubrità dell'ambiente stesso. Per gestire situazioni con diverse specifiche di raffrescamento o riscaldamento un impianto di questo tipo può agire su due variabili: temperatura dell'aria di mandata e portata della stessa. Si distinguono quindi impianti a portata costante e temperatura variabile, ed impianti a temperatura costante e portata variabile. In base al valore della velocità dell'aria nei canali, questi impianti possono essere ulteriormente suddivisi in alta (valori fino a 30 m/s) o bassa velocità (v<15 m/s). Per quanto riguarda le limitazioni imposte dal comfort acustico sono da preferirsi gli impianti a bassa velocità, d'altra parte essi possono essere utilizzati solamente quando vi è disponibilità di spazio. Quella a tutt'aria risulta quindi una tipologia di impianto che garantisce un controllo totale ed accurato delle variabili ambientali di progetto e, non sfruttando masse inerziali per il trasferimento del calore, è particolarmente adatto per il condizionamento di grandi ambienti ad uso saltuario non continuativo, con condizioni termo-igrometriche di progetto poco variabili.

La portata del ventilatore deve rispondere al requisito di ricambio d'aria di 20 m^3/h/persona descritto dalla normativa UNI 10339, così come deve rispettare una velocità dell'aria compresa tra 0,05-0,15 m/s in fase di riscaldamento e 0,05-0,20 durante il raffrescamento.

L'Unità di Trattamento Aria è composta da:
- serrande;
- sistema di filtrazione;
- batteria di pre-riscaldamento;
- sezione di umidificazione;
- batteria di raffreddamento e deumidificazione;
- batteria di post-riscaldamento;
- ventilarore di mandata.

A causa delle variazioni del carico termico in funzione del numero di utenti della biblioteca, si è preferito progettare un impianto a portata costante. I più efficienti impianti a portata variabile consentono un risparmio energetico maggiore rispetto ai primi, ma hanno la possibilità di ridurre la portata al massimo del 25-30% del valore, un valore non accettabile per questa tipologia di destinazione d'uso.

Essendo la mediateca suddivisa in zone suscettibili a variazioni di carichi termini, si è preferito adottare un sistema di distribuzione a doppio condotto. Questo sistema è composto da due canali di distribuzione dell'aria: uno per l'aria calda e uno per l'aria fredda. L'aria è prodotta nell'unità di trattamento aria e, durante il periodo invernale ed intermedio, la portata totale attraversa un canale unico (pre-riscaldamento e umidificazione), ed è successivamente suddivisa in due canali, in uno dei quali è raffreddata (canale freddo) mentre nell'altro è riscaldata (canale caldo).

L'aria immessa in ambiente è costituita da una miscela delle due correnti d'aria, effettuata in una scatola di miscelazione collocata in prossimità di ciascun ambiente.

La portata d'aria è immessa nella scatola dalle due canalizzazioni mediante serrande coniugate comandate da un termostato ambiente, che regola la portata d'aria proveniente dai due canali in funzione della variazione di temperatura nell'ambiente da condizionare.

In questo modo l'impianto è in grado di compensare contemporaneamente carichi termici e frigoriferi. Durante il periodo estivo i pre-trattamenti nel canale unico non sono effettuati.

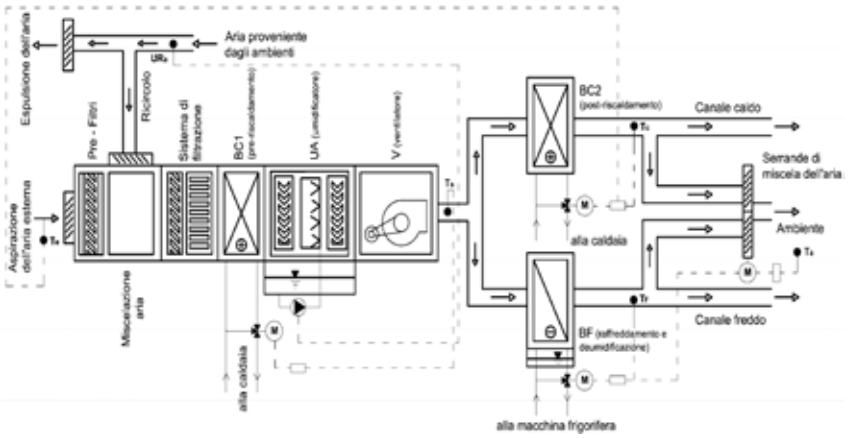


fig. 4.255 - *Schema di composizione di un'unità di trattamento aria*

Terminali di distribuzione - sistema a flusso laminare

VI sono diverse tipologie di terminali disponibili per gli impianti a tutt'aria. In particolare essi variano la propria posizione in funzione delle applicazioni:

Distribuzione a flusso turbolento. Con elevato grado di mescolamento (induzione) fra l'aria immessa dai terminali ("aria primaria") ed aria presente in ambiente e richiamata in movimento per effetto di trascinamento da parte del flusso di aria primaria. Questa tipologia è normalmente caratterizzata da una portata di aria primaria relativamente modesta rispetto al totale movimento di aria provocato e da una differenza di temperatura relativamente elevata fra aria immessa e condizioni ambientali medie. Per contro le velocità di introduzione dell'aria sono abbastanza elevate (normalmente superiori a 2 m/s) con limite superiore che può arrivare oltre i 20 m/s.

Distribuzione a dislocazione. Nella distribuzione a dislocazione si realizza l'immissione localizzata di aria a velocità particolarmente modesta (da 0,2 a 0,4 m/s), effettuata nella parte bassa dell'ambiente e con temperatura di poco inferiore a quella media del locale. L'aria fresca così introdotta tende a diffondersi senza turbolenza, rimanendo aderente al pavimento, spostando lentamente verso l'alto l'aria circostante più calda, favorendo e utilizzando i moti convettivi dovuti alla presenza di sorgenti termiche localizzate. Questa tipologia è caratterizzata da portate di aria immessa più elevate rispetto al caso precedente, ma con velocità e differenze di temperatura ridotte.

Distribuzione a flusso laminare. Distribuzione a flusso laminare orizzontale o verticale, che consiste nell'immissione di aria da ampie porzioni di parete o di soffitto, con velocità uniforme dell'ordine di 0.4 ÷ 0.5 m/s, che attraversa l'ambiente con movimento simile a quello di un pistone fino ad essere ripresa dal lato opposto a quello di introduzione. In questo caso l'obiettivo principale è l'ottenimento di un elevatissimo grado di purezza dell'aria ambiente con bassissimo grado di turbolenza, purezza dipendente essenzialmente dalla qualità e quantità dell'aria immessa. Ne conseguono rilevanti portate d'aria con temperatura molto prossima a quella media dell'ambiente.

La tipologia di terminale adottata prevede i sistemi a flusso laminare i quali sono caratterizzati dal un elevato grado di purezza dell'aria e di una forte riduzione degli agenti inquinanti di origine organica, inorganica e biologica.

La riduzione della concentrazione degli agenti inquinanti è ottenuta in questo caso per spostamento fisico dell'aria inquinata, alla quale va a sostituirsi aria nuova trattata, con un meccanismo ad effetto pistone realizzato di norma ricorrendo a distribuzione del tipo a flusso unidirezionale laminare, ovvero a bassa turbolenza, con aria immessa da un'intera parete (o soffitto) completamente corredata di elementi filtranti HEPA, con velocità uniforme di circa 0,4-0,5 m/s, che viene mantenuta tale fino alla parete apposta (o pavimento), da cui avviene l'estrazione.

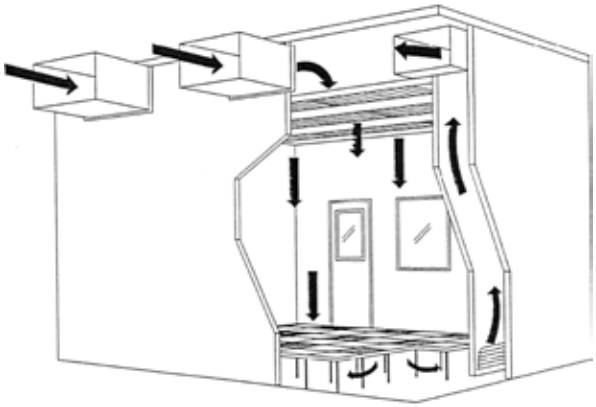


fig. 4.256 - *Schema di funzionamento dei sistemi a flusso laminare*

fig. 4.257 - *Pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria*

Produzione di Acqua Calda Sanitaria - Boiler con pompa di calore

Esistono molti sistemi per la produzione di acqua calda sanitaria che possono essere classificati in base alla modalità di produzione ottenuta con diversi tipologie di caldaie:

- istantanee a gas o semi-istantanee (spesso identificate come semi-accumulo)
- autonome a gas e con accumulo
- boiler elettrici

La volontà di eliminare completamente le condotte di scarico di scarti di combustione, ci ha guidato alla scelta di utilizzare un pompa di calore per la sola produzione dell'acqua calda sanitaria.

Volendo eliminare completamente dall'edificio gli scarichi derivanti dalla combustione delle caldaie standard e non considerando l'uso di un boiler elettrico perchè poco efficiente, abbiamo adottato questa soluzione innovativa.

Il fluido frigorigeno cambia di stato nell'evaporatore prelevando calore dalla sorgente a bassa temperatura (l'aria esterna). Il compressore, che costituisce il cuore pulsante del sistema, innalza il livello energetico del calore prelevato, il fluido frigorigeno infatti, aumentando di pressione, raggiunge temperature prossime ai 90°C.

Nel condensatore diventa possibile cedere energia termica all'acqua sanitaria, riscaldandola fino 60°C (e non 80° come le caldaie tradizionali).

L'accumulo consente di immagazzinare e conservare a lungo il calore, grazie all'isolamento dell'accumulatore. Infine, attraversando l'organo di espansione, il fluido torna a bassa pressione, si raffredda ed è nuovamente disponibile per ripetere il cicl.

Macchinari aggiuntivi

Il locale adibito ad accogliere gli impianti ospita inoltre altre macchine necessarie al funzionamento della biblioteca.

L'innovazione di questo particolare tipo di biblioteca è la quasi totale assenza di libri cartacei se non per le novità o magazine. Sarà quindi necessario disporre di un archivio digitale (o server) stabile e facilmente accessibile dai tecnici.

Per questo motivo è stato predisposto un locale ad umidità controllata al piano -4 affiancato al locale impianti.

Per garantire un approvvigionamento continuo dell'energia elettrica all'edificio anche in condizioni di guasti o black-out, oppure semplicemente per evitare di danneggiare gli hardware presenti nell'edificio in caso di sbalzi di tensione, affiancati ai server, sono stati pensati dei gruppi di continuità.

fig. 4.258 - *Gruppo di continuità (a sinistra) Server rack (a destra)*

Recupero delle acque meteoriche

Un'architettura sostenibile deve poter sfruttare tutte le risorse disponibili sul sito di progetto. Grazie ad un sistema di captazione dell'acqua piovana e ad un serbatoio di accumulo, è possibile sfruttare le acque meteoriche per ridurre notevolmente il fabbisogno di acque grigie dell'edificio.

Il dimensionamento del serbatoio di accumulo delle acque piovane dipende da tre fattori:

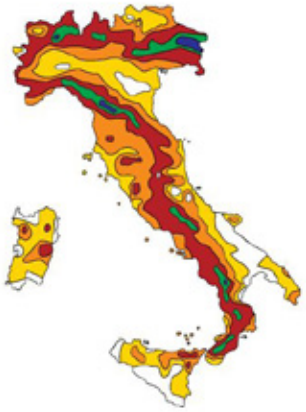
quantità di precipitazioni locali. la quantità media di precipitazioni è deducibile osservando il relativo grafico che suddivide l'italia in zone per quantità di precipitazioni medie annue.

superficie di raccolta associata. è necessario considerare l'area intesa come il bacino di captazione degli eventi meteorici confluente nel serbatoio

fabbisogno di acqua piovana. determinare il fabbisogno utilizzando un modello di calcolo considerando le stime di utilizzo degli utilizzatori domestici che consumano acqua grigia

Apporto annuale di acqua piovana

Considerando il territorio italiano suddiviso in zone per quantitativo di piogge medio annuale, Milano si trova all'interno della zona in cui le precipitazioni stimate variano tra gli 801 e i 1000 mm annui.



Apporto annuale acqua piovana			
valore precipitazioni mm	*superficie captante*	*coefficiente di correzione del tetto*	*apporto pioggia annuale*
800 mm	718 m²	0,9	**516960 L/anno**
Fabbisogno annuale di acqua piovana			
sciacquone del WC	8800 L/persona x anno	X 20	176000 L
lavatrice	3700 L/persona x anno	X 20	74000 L
pulire, lavare	800 L	X 20	16000 L
irrigazione	150 L/m² x anno	X 200	30000 L
		fabbisogno	**296000 L/anno**
Taglia del serbatoio			
516960+296000		28 gg (riserva di sicurezza	*capacità necessaria*
2		365 gg	**31182 L**

Ipotizzando l'interramento di un serbatoio modulare per il recupero delle acque piovane di circa 31000 L di capacità, è possibile eliminare il fabbisogno di acqua dalla rete idrica comunale delle residenze del Cigno oltre per le comuni mansioni di pulizia,irrigazione, WC e lavatrice. Inoltre, l'acqua in eccesso potrebbe essere utilizzata dall'impianto anti-incendio di Me-library e per il l'impianto geotermico di riscaldamento/ raffrescamento delle residenze.

Le dimensioni di tale serbatoio sono di circa 2,10x9,80x2,34 m ed il prezzo di mercato si aggira intorno ai 19000 €.w

I vantaggi nell'utilizzo di un impianto di recupero delle acque piovane sono molteplici:
- tutela delle acque sotterranee
- riduzione dei costi e spese per la depurazione delle acque e dei trasporti
- riduce i costi per lo scarico delle acque reflue in pubblica fognatura
- durante le fasi di forti precipitazioni piovose una parte della pioggia viene trattenuta per utilizzi successivi evitando i picci di carico della rete fognaria
- permette di essere indipendendi durante i periodi di siccità i nconcomitanza con eventuali restrizioni locali sull'erogazione dell'acqua potabile.

Il consumo medio per persona è di circa 250 litri di acqua potabile al giorno. Non vi sono alcune variazioni di comfort se il 50% di essa provenga dalla riserva di acqua piovana.

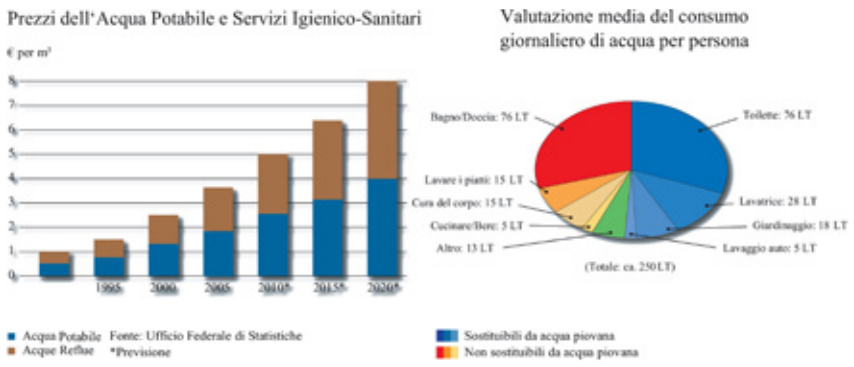


fig. 4.259 - *Indagine sui prezzi e consumo medio dell'acqua potabile*

4.4 LE PRINCIPALI NOVITÀ

4.4.1 NZEB

La DGR 6480 impone che, in Lombardia, dal 01/01/2016 tutti gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazioni importanti di primo livello o ampliamenti, siano NZEB (nearly zero energy building). Le principali novità riguardano:

- servizi energetici considerati nel calcolo della prestazione: riscaldamento, ventilazione, raffrescamento, ACS, illuminazione, trasporto persone/cose;
- nuove definizioni di ristrutturazioni importanti;
- energia primaria totale: il nuovo APE informa nel dettaglio l'utente finale dell'immobile sulle fonti energetiche utilizzate, suddivise tra rinnovabili e non rinnovabili, esprimendo tre indici di prestazione energetica per ogni servizio e per l'insieme dei servizi.
- edificio di riferimento: la classificazione energetica e le verifiche di progetto sono condizionate dal calcolo dell'edificio di riferimento; un edificio equivalente a quello reale ma dotato di caratteristiche pari a quelle previste dai limiti di legge. La valutazione dell'edificio di riferimento è diventata obbligatoria anche per i certificatori energetici, ricalcolando l'edificio oggetto dell'APE dotato di involucro e impianti standard. Le verifiche di progetto devono essere eseguite mediante confronto dell'edificio progettato con l'edificio di riferimento, sia per quanto riguarda l'involucro che per gli impianti inseriti nel fabbricato.
- classificazione energetica con classi variabili: le classi energetiche sono variabili e valutate in base alla prestazione energetica dell'edificio di riferimento, tenendo conto dei servizi utilizzati nell'edificio reale.
- edificio ad energia quasi zero (nZEB);
- modalità di valutazione dell'energia autoprodotta e dell'energia esportata;
- nuovo attestato di prestazione energetica (APE): l'APE è cambiato in modo significativo con l'adeguamento ai nuovi decreti: tra le più importanti novità le nuove classi energetiche, maggiori dettagli sui singoli servizi e sui vettori energetici, indici specifici sulle prestazioni dell'involucro nei periodi invernale ed estivo.

A decorrere dal 1° gennaio 2016 gli edifici di nuova costruzione e gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti di primo livello di tutte le destinazioni d'uso dovranno essere edifici a energia quasi zero; per i suddetti edifici in sede progettuale si procede alla:

- determinazione dei parametri, degli indici di prestazione energetica, espressi in kWh/m2 anno, e delle efficienze, calcolati nel rispetto delle disposizioni e dei metodi di calcolo, conformemente al seguente elenco:
  - H'_T [W/ m^2K], coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente;
  - $A_{sol,est}$/ $A_{sup\ utile}$ [-], area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
  - $E_{PH,nd}$ [kWh/m^2], indice di prestazione termica utile per climatizzazione invernale;
  - η_H [-], efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;
  - E_{PH} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
  - $E_{PW,nd}$ [kWh/m^2], indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria;
  - η_W [-], efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria;
  - E_{PW} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Può essere espresso in energia primaria non rinnovabile (indice

"nren") o totale (indice "tot");
- E_{PV} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
- $E_{PC,nd}$ [kWh/m^2] indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva;
- η_C [-], efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità);
- E_{PC} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
- E_{PL} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
- E_{PT} [kWh/m^2], indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3);
- $EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m^2], indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria. Questo indice può essere espresso in energia primaria totale ($EP_{gl,tot}$) e in energia primaria non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$);

- verifica del rispetto delle seguenti condizioni con riferimento ai parametri, indici ed efficienze definiti alla precedente lettera a):
  - il parametro H'_T risulti inferiore al pertinente valore limite riportato nella Tabella 10 dell'Allegato B;
  - il parametro $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$, determinato in base a quanto previsto al paragrafo 2.2 dell'Allegato B, risulti inferiore al corrispondente valore limite riportato nella Tabella 11 del medesimo Allegato B, rispettivamente per gli edifici della categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3), e per gli edifici di tutte le altre categorie;
  - gli indici $EP_{H,nd}$, $EP_{C,nd}$ e $EP_{gl,tot}$ risultino inferiori ai valori dei corrispondenti indici limite calcolati per l'edificio di riferimento ($EP_{H,nd,limite}$, $EP_{C,nd,limite}$ e $EP_{gl,tot,limite}$) per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e impiantistiche sono definiti dalle pertinenti tabelle del Capitolo 1 dell'Allegato B.;
  - Le efficienze η_H, η_W e η_C, risultino superiori ai valori delle corrispondenti efficienze indicate per l'edificio di riferimento ($\eta_{H,limite}$, $\eta_{W,limite}$, e $\eta_{C,limite}$), per il quale i parametri energetici e le caratteristiche termiche sono definiti alle tabelle del Capitolo 1 dell'Allegato B;

- verifica del rispetto degli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili previsti all'Allegato 3, del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28., ossia:
  - copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% del fabbisogno di energia primaria per l'acqua calda sanitaria;
  - copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% della somma dei fabbisogni di energia primaria per l'acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva;
  - installazione, sopra o all'interno o nelle relative pertinenze dell'edificio, di impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza elettrica, misurata in kW, calcolata secondo la formula: P= 1/KS, dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m2 , e K è un coefficiente (m2 /kW) avente valore pari a 50.

4.4.2 CENED+2.0: FUNZIONALITÀ DI CALCOLO NZEB E LEGGE 10

La funzionalità di calcolo NZEB presente nel software CENED+2.0 contiene la verifica dei principali indicatori che concorrono alla definizione di un "Edificio ad energia quasi zero", standard obbligatorio in Lombardia dal gennaio 2016 per i nuovi edifici o per interventi assimilati alla nuova costruzione e per gli edifici sottoposti a ristrutturazione importante di primo livello; tali indicatori costituiscono però solo una parte delle verifiche richieste dalla normativa e da asseverare nel documento "Relazione tecnica" (ex legge 10), obbligatorio per le nuove progettazioni.

4.4.3 CALCOLO CON SOFTWARE CENED+2.0

Parametri e metodologia di calcolo

La nuova procedura di calcolo collegata (Decreto n.6480), applicata alla progettazione dal 1.1.2016, è completamente diversa dalla precedente e verifica il rispetto di una serie importante di nuovi requisiti tra cui:

- temperatura critica dei ponti termici;
- efficienza dell'involucro sia in estate che in inverno;
- coefficiente medio globale di scambio termico;
- indice di prestazione energetica globale (riscaldamento + ACS + raffrescamento + ventilazione + illuminazione); è questo il valore che darà poi la classe energetica. L'illuminazione è esclusa solo nel residenziale (cat. E1);
- efficienza media stagionale dell'impianto per i servizi di riscaldamento, ACS e raffrescamento.

La nuova scala delle classi energetiche (da A4 a G) non sarà più assoluta, ma relativa ai valori ottenuti rispetto all'edificio di riferimento. L'edificio di riferimento è calcolato sulla base delle stesse geometrie ma imponendo valori di trasmittanza agli elementi di involucro e di efficienza degli impianti, tabellati per zona climatica. L'indice di prestazione energetica globale dell'edificio di riferimento sarà quindi, di volta in volta, il limite di legge da non superare e segnerà anche il confine tra la classe B e la classe A1 dell'edificio in progetto.

Ne deriva che tutti i nuovi edifici dovranno essere almeno in classe A1 (condizione necessaria ma non sufficiente). Ulteriori diminuzioni dell'indice globale calcolato per l'edificio in progetto lo posizioneranno nelle nuove classi migliorative A2, A3, A4.

Gli attestati di prestazione energetica (APE) avranno layout completamente rinnovato e dovranno necessariamente essere redatti per singolo subalterno, superando la discrezionalità concessa con la legislazione precedente. Da questo deriva un'ulteriore incombenza che prevede il soddisfacimento di tutte le verifiche energetiche in fase progettuale per singola U.I.. Infatti, se ad oggi un edificio condominiale con riscaldamento centralizzato può essere certificato globalmente (supponiamo in classe A), è assolutamente plausibile che alcune unità, se analizzate singolarmente, non risultino nella medesima classe; la possibilità precedente di certificare l'intero sistema edificio/impianto superava però la criticità. Con la nuova disposizione invece le unità prese singolarmente dovranno necessariamente risultare in classe A1 e soddisfare anche tutti i restanti requisiti minimi.

È interessante notare che, con questo provvedimento, la Lombardia si adegua al sistema nazionale, anticipando già al 2016 i requisiti degli edifici NZEB (edifici ad energia quasi zero) che i decreti italiani fissano invece tra il 2019 ed il 2021 (a seconda del tipo di intervento).

Di seguito sono riportati alcuni calcoli di volumi e superfici inseriti all'interno del software CENED+2.0 per il calcolo.

fig. 4.239 - *Geometria e caratteristiche degli elementi disperdenti - RESIDENZE*

Geometria

Piano	Quota piano di calpestio	Sub alterno	Altezza media locali		Superficie			Capacità aerica				Superficie disperdente interna totale	Volume	
			h netta	h lorda	lorda	utile	rapporto	sup. netta	perimetro	area	sup.		netto	lordo
	[cm]		[m]	[m]	[m2]	[m2]		[m2]	[m]	[m2]	[m2]	[m2]	[m3]	[m3]
4	1457	Apt Nord	4,00	4,40	92	70,78	29,98	75,58	39,83	159,32	105,46	256,62	302	333
		Apt Sud	3,80	4,20	72,8	56,50	28,85	58,93	34,50	131,10	97,71	215,57	224	248
3	1107	Apt Nord	3,25	3,50	100,6	80,20	25,44	83,44	41,65	135,36	88,06	254,94	271	292
		Apt Sud	3,25	3,50	83,67	65,5	27,74	68,90	36,38	118,24	85,75	223,55	224	241
2	757	Apt Nord	3,25	3,50	145,59	118,5	22,86	122,10	53,79	174,82	140,53	384,73	397	427
		Apt Sud	3,25	3,50	91,94	73,3	25,43	76,72	37,45	121,71	87,42	240,86	249	269
1	407	Apt Nord	3,25	3,50	153	123,85	23,54	128,93	54,91	178,46	140,57	398,43	419	451
		Apt Sud	3,25	3,50	97,71	77,3	26,40	82,07	38,41	124,83	85,14	249,28	267	287
					837	666								2548

Elementi disperdenti trasparenti

finestre/porte	base	altezza	area	perim. vetro
	[m]	[m]	[m2]	[m]
F1 (300x90)	0,9	3	2,7	8,50
F2 (300x60)	0,6	3	1,8	7,30
F3 (P4 Nord)			15,07	22,17
F5 (P3 Nord)			4,01	9,04
F6 (P2 Nord)			1,39	6,98
F7 (P4 Sud-Est)			15,78	15,90
F8 (P3 Sud-Est)			10,14	12,48
F9 (P2 Sud-Est)			8,16	11,24
F5 (serra Sud)	0,9	3,5	3,15	8,60
F6 (serra Sud)	0,6	3,5	2,1	8,00

Elementi disperdenti opachi

Chiusure Verticali	descrizione	tipologia	trasmittanza	spessore	colore
			[W/m2k]	[m]	
C.V.01	Pareti perimetrali iperisolate	parete esterna	0,10	0,35	chiaro
C.V.02	pareti verso ambienti non riscaldati	parete interna	0,12	0,31	
C.V.03	pareti serra verso esterno	parete esterna	1,50	0,20	
C.O.01	copertura iperisolata	copertura	0,10	0,30	
C.O.02	pavimento serra Sud-Est non isolato	pavimento esterno	1,50	0,20	

tab. 4.28 - *Geometria e caratteristiche degli elementi disperdenti - MEDIATECA*

Geometria

Piano	*Quota altimetrica al piano di calpestio*	*Sub alterno*	*Altezza media locali*		*Superficie*			*Capacità aerica*				*Sup. disp. interna tot*	*Volume*	
			h netta	*h lorda*	*lorda*	*utile*	*rapporto*	*sup. netta*	*perim. interno*	*area*	*sup.*		*netto*	*lordo*
	[cm]		*[m]*	*[m]*	*[m2]*	*[m2]*		*[m2]*	*[m]*	*[m2]*	*[m2]*	*[m2]*	*[m3]*	*[m3]*
0	1457	info caffè kids	3,77	4,10	413,1	336,63	22,72	388,87	140,86	531,04	310,63	876,35	1466	1594
-1	1107	piazza	3,20	3,47	630,36	433,55	45,39	570,91	150,81	482,59	477,55	1518,98	1827	1981
-2	757	digiteca	3,20	3,60	630,36	391,6	60,97	570,91	150,81	482,59	477,55	1619,37	1827	2055

Elementi disperdenti trasparenti

finestre/porte	*descrizione*	*area*
	[m]	*[m2]*
Serr. Nord	facciata continua via Palermo	34,14
Serr. Est	facciata continua via Asilo	77,82
Serr. Ovest	serramenti verso la corte	30,78
Serr. Sud 1	serra verso la corte	50,55
Serr. Sud 2	serramenti Kids Library	22,08
Serr. Orizz. 1	serramenti verso via palermo	63,75
Serr. Orizz. 2	lucernari corte	36,64
Serr. Inclin.	finestra tetti Kids Library	6,8
Porta	porte ascensori e ingressi	2,52

Elementi disperdenti opachi

Chiusure Verticali	*descrizione*	*tipologia*	*trasmittanza*	*spessore*	*colore*
			[W/m2k]	*[m]*	
C.V.01	pareti perimetrali iperisolate	parete esterna	0,10	0,35	
C.V.02	pareti amb non-riscaldati	parete interna	0,12	0,31	
C.V.03	pareti controterra	parete esterna	1,20	0,20	
C.O.01	copertura iperisolata	copertura	0,10	0,30	
C.O.02	copertura verso spazio non riscaldato	copertura	0,12	0,20	chiaro
C.O.03	solaio a terra	solaio verso esterno	0,12	0,25	
C.O.04	copertura verde	copertura	0,10	0,46	
C.O.05	solaio verso spazio non riscaldato	solaio verso esterno	0,12	0,20	

Caso studio

Per l'applicazione del nuovo metodo di calcolo, come richiesto dalla normativa, gli appartamenti privati e la mediateca pubblica devono essere presi in esame separatamente e ciascuno di essi deve risultare almeno in classe A1 per risultare conforme alla classificazione nZEB.

Nel paragrafo precedente sono stati descritti e modellati la mediateca e tutti gli otto appartamenti caratterizzati da superfici e esposizioni differenti. Per la verifica è stato scelto un appartamento come caso studio che verrà di seguito analizzato e descritto. Nello svolgere il calcolo relativo al fabbisogno energetico dell'appartamento sopra citato si è andati a utilizzare il software CENED+2.0 nel quale sono stati inseriti i dati richiesti dal programma: dati generali dell'edificio, superfici disperdenti, ponti termici… Infine anche gli impianti sono stati modellati: illuminazione, riscaldamento, raffrescamento, fotovoltaico, ACS, etc….

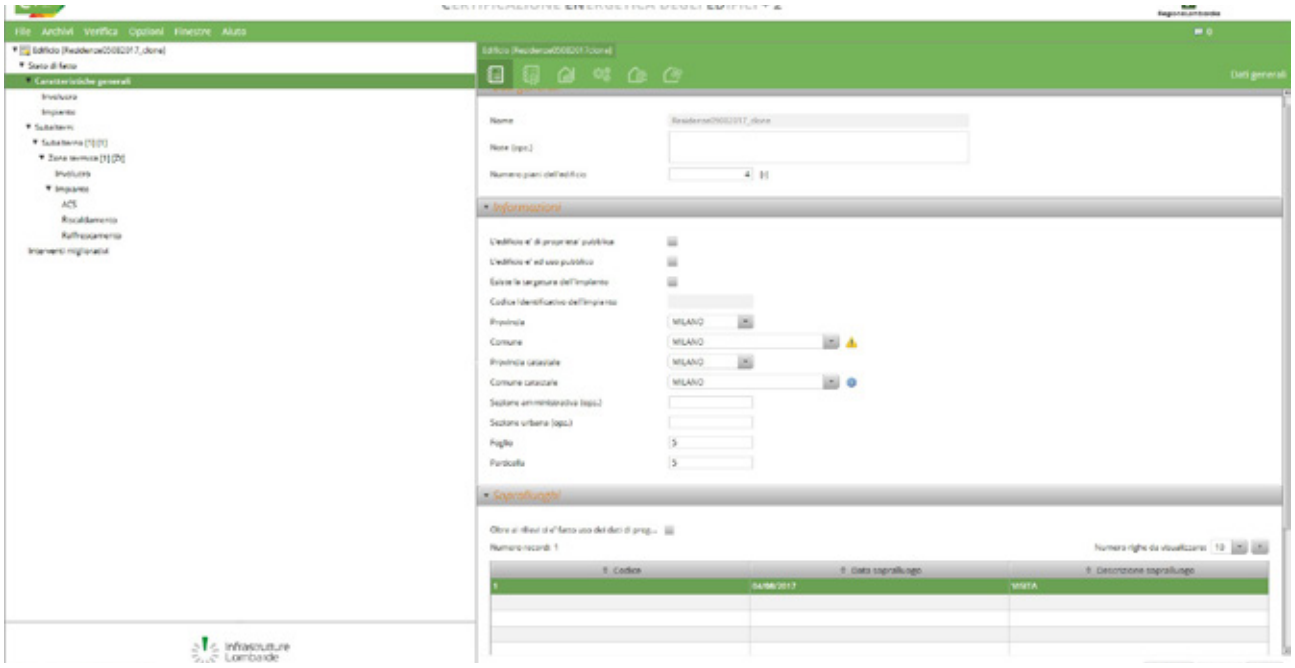
Vediamo di seguito la descrizione delle operazioni e dei dati da inserire al fine di ottenere l'APE.

nZEB

Vengono descritte le funzionalità e i dati principali utili alla creazione di un nuovo edificio ai fini della certificazione energetica: nome, dati climatici personalizzati, Provincia, Comune…

- Dati generali: dove sono inserite tutte le informazioni amministrative e catastali dell'edificio e i sopralluoghi effettuati;
- Dati certificatore: dove sono definite tutte le informazioni relative al certificatore, al motivo dell'APE, all'Amministratore dell'edificio;
- Dati APE: dove è necessario definire in sintesi le caratteristiche costruttive dell'edificio, la destinazione d'uso prevalente e indicare se l'edificio è a energia quasi zero;
- Acqua calda sanitaria ACS da compilarsi nei soli casi in cui la lunghezza dei tubi della distribuzione di ACS non è nota;
- Ventilazione meccanica, da compilarsi nei soli casi in cui è presente un sistema di ventilazione meccanica controllata.

fig. 4.260 - *Dati generali*



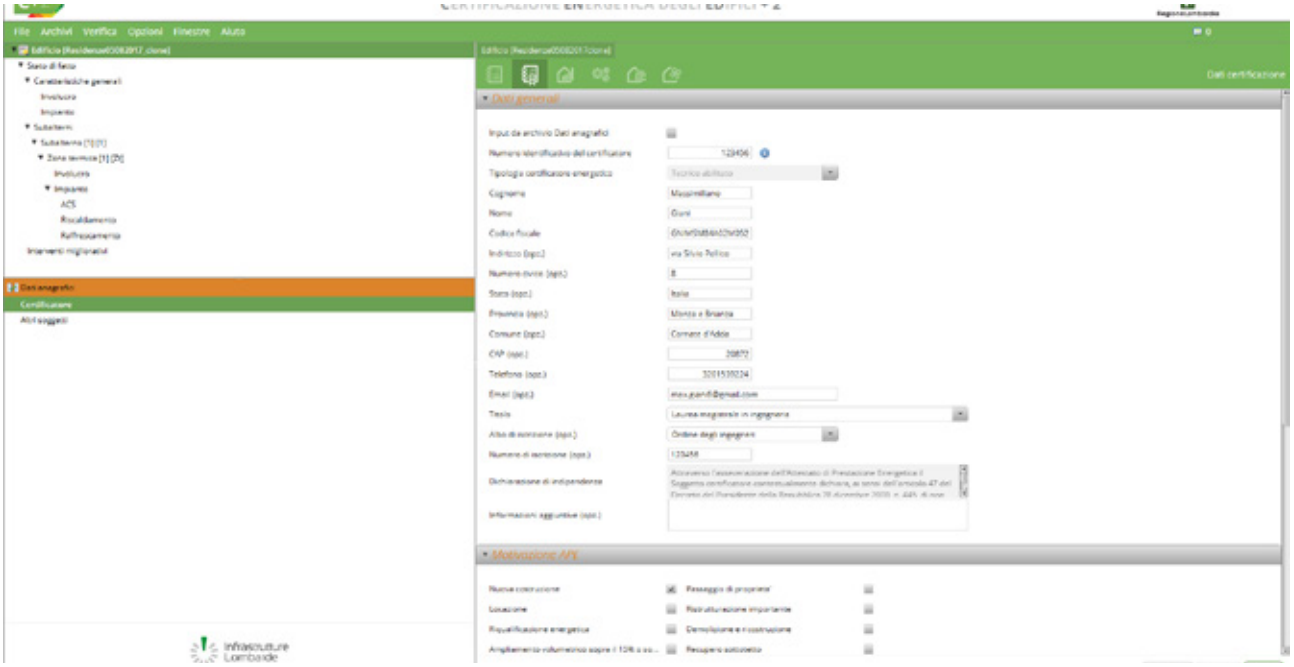
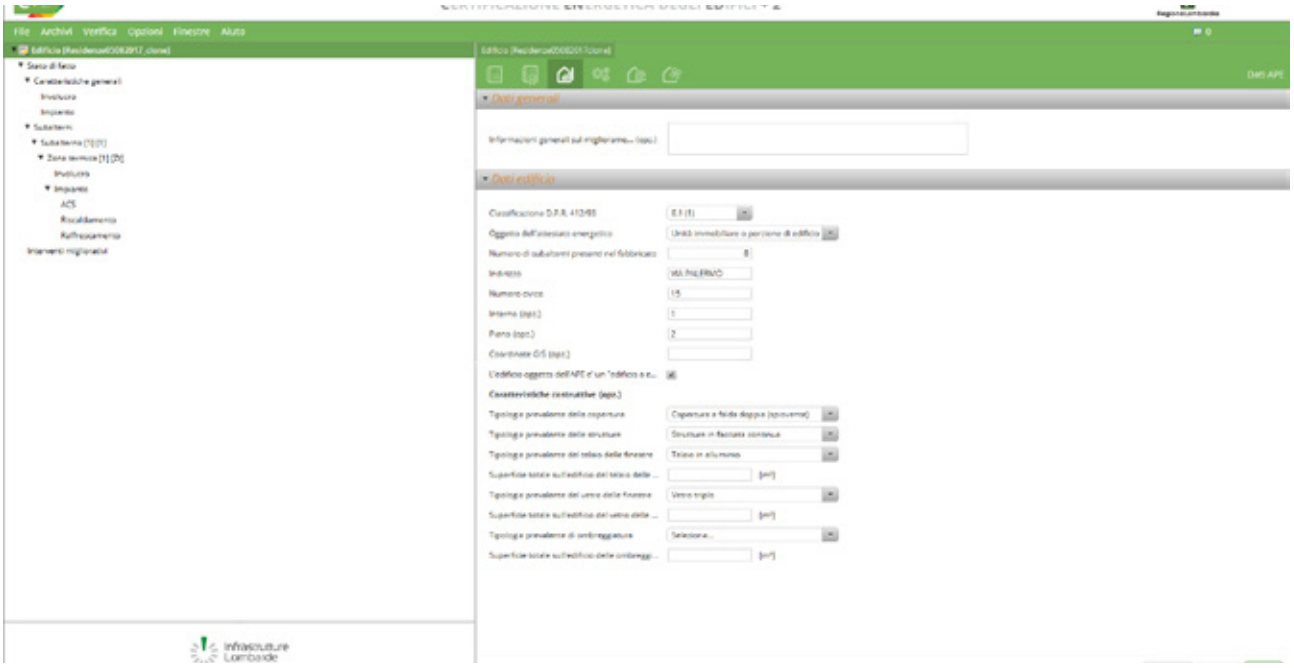


fig. 4.261 - *Dati certificatore*

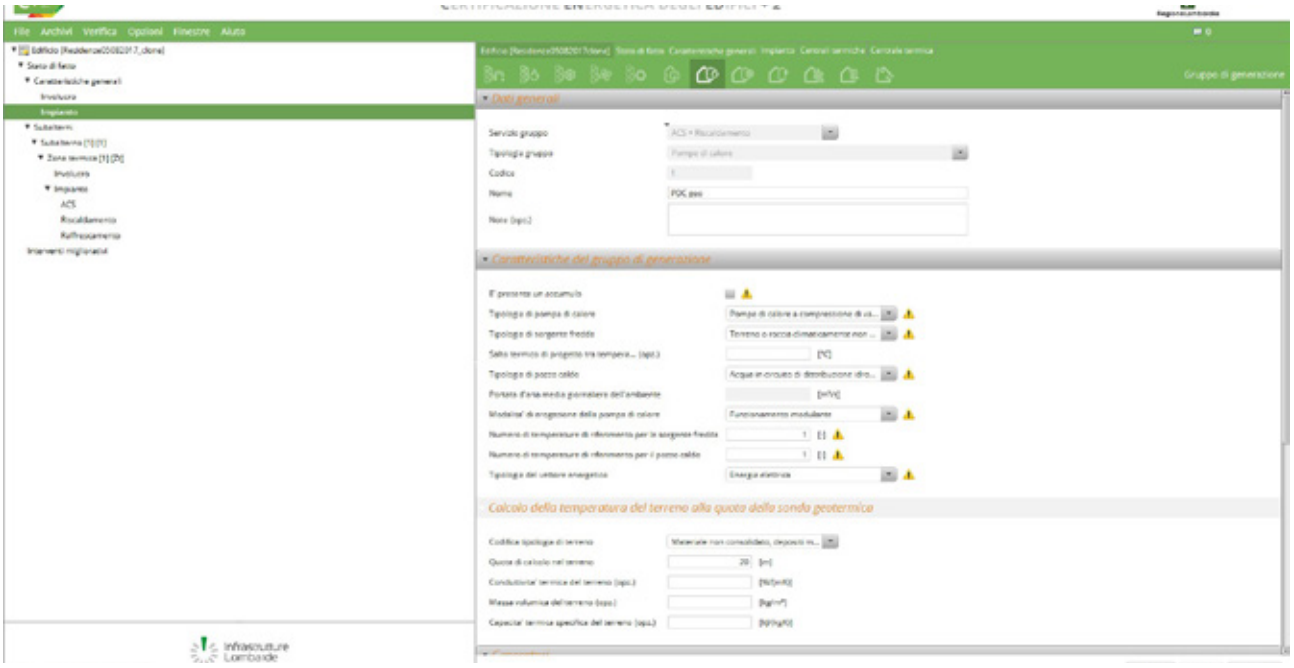
fig. 4.262 - *Dati APE*



A questo punto il software richiede una serie di informazioni sulle caratteristiche costruttive dell'edificio per descrivere l'involucro edilizio; si tratta di dati opzionali che andranno a popolare un archivio che raccoglierà dati sulle caratteristiche costruttive del patrimonio edilizio, ovvero:

- tipologia prevalente della copertura:
  - copertura piana;
  - copertura a falda singola (spiovente);
  - copertura a falda doppia (spiovente);
  - altro tipo di copertura;
- tipologia prevalente delle strutture:
  - strutture in muratura portante;
  - strutture miste in cemento armato e muratura;
  - strutture miste in cemento armato e pannelli prefabbricati, • strutture miste in cemento armato e vetro;
  - strutture miste in acciaio e vetro;
  - strutture miste in acciaio e muratura;
  - strutture miste in acciaio e pannelli prefabbricati;
  - strutture in facciata continua;
  - altro tipo di struttura;
- tipologia prevalente del telaio delle finestre:
  - telaio in legno;
  - telaio in alluminio;
  - telaio in plastica;
  - altro tipo di telaio;
- superficie totale sull'edificio del telaio delle finestre;
- tipologia prevalente del vetro delle finestre:
  - vetro semplice;
  - vetro doppio
  - vetro triplo
  - altro tipo di vetro;

fig. 4.263 - *Dati impianto : ACS e riscaldamento con pompa di calore*

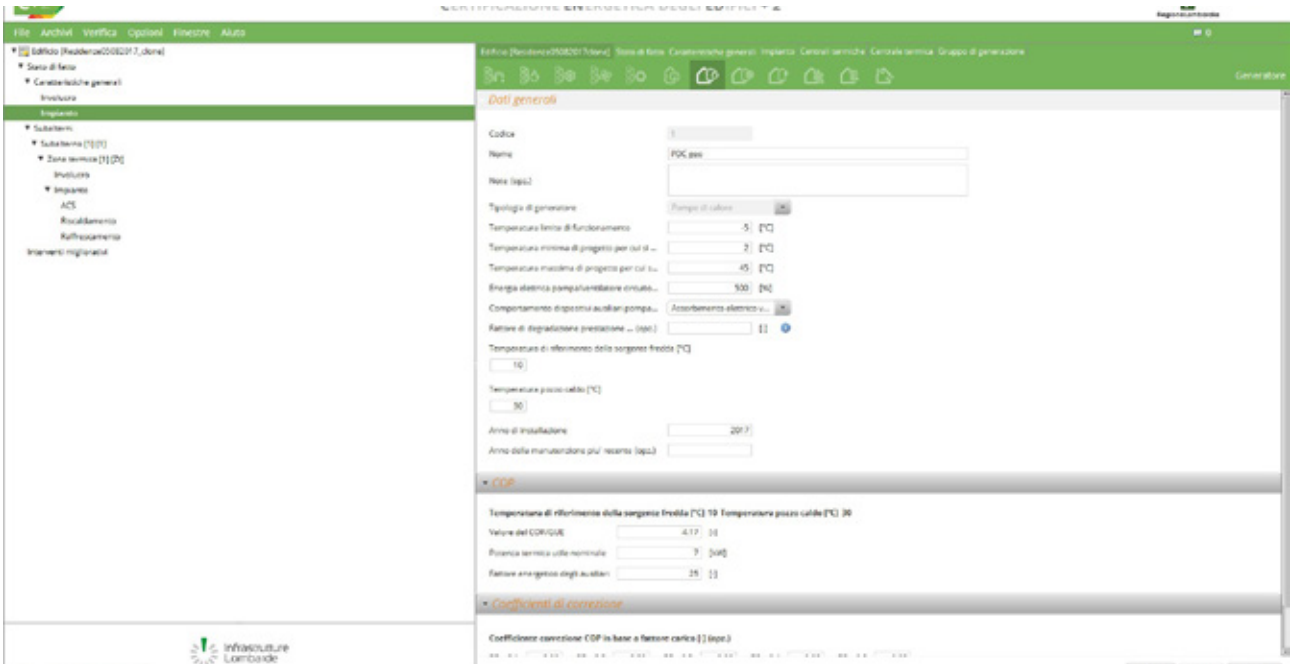


- -superficie totale sull'edificio del vetro delle finestre;
  - tipologia prevalente di ombreggiatura: persiane, portelloni, veneziane, avvolgibili in legno, avvolgibili in alluminio, avvolgibili in pvc, avvolgibili in pvc coibentati, altro tipo di ombreggiatura;
- superficie totale sull'edificio delle ombreggiature insistenti sull'immobile.

Si passa ora a descrivere tutti gli impianti di cui sono dotati l'edificio e l'appartamento in esame:

- Acqua calda sanitaria ACS;
- Sistema di riscaldamento (a pavimento radiante nel nostro caso);
- Sistema di raffrescamento;
- Sistema di ventilazione meccanica VCM (inserita a posteriori come intervento migliorativo);
- Sistemi di trasporto di persone o cose;
- Accumuli;
- Centrali termiche;
- Centrali frigorifere;
- Centrali elettriche;
- Terminali
- Unità di trattamento aria UTA.

fig. 4.264 - *Dati impianto : pompa di calore geotermica*



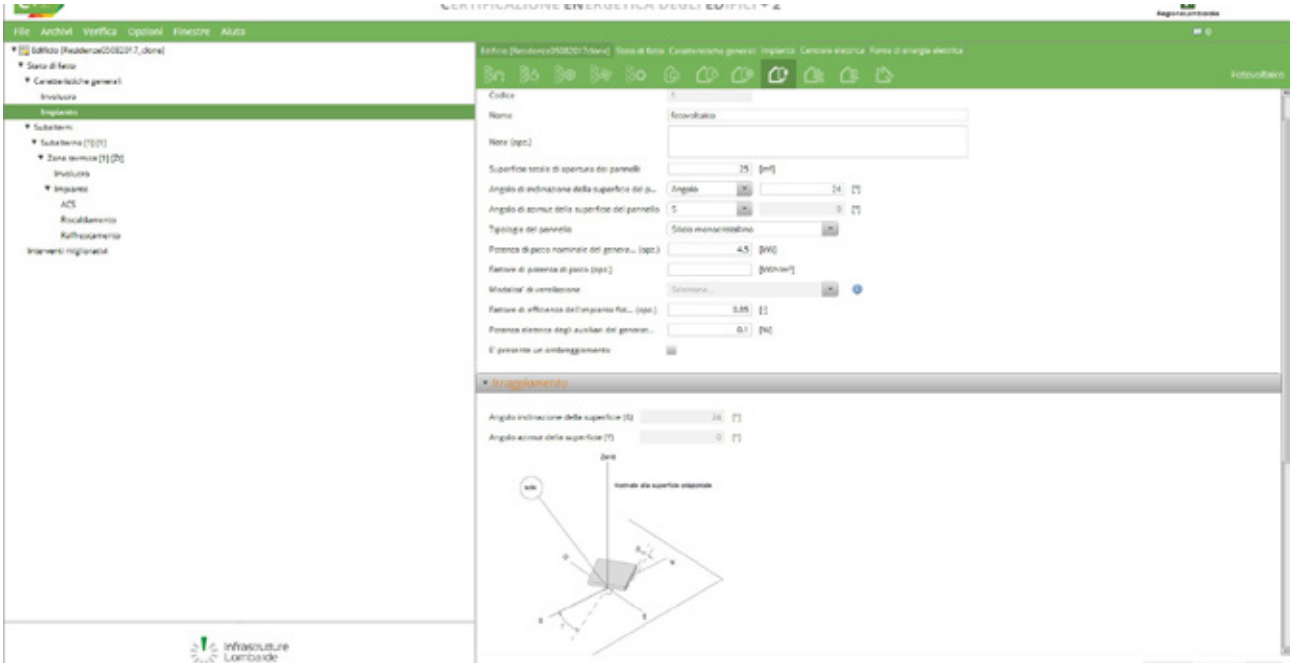
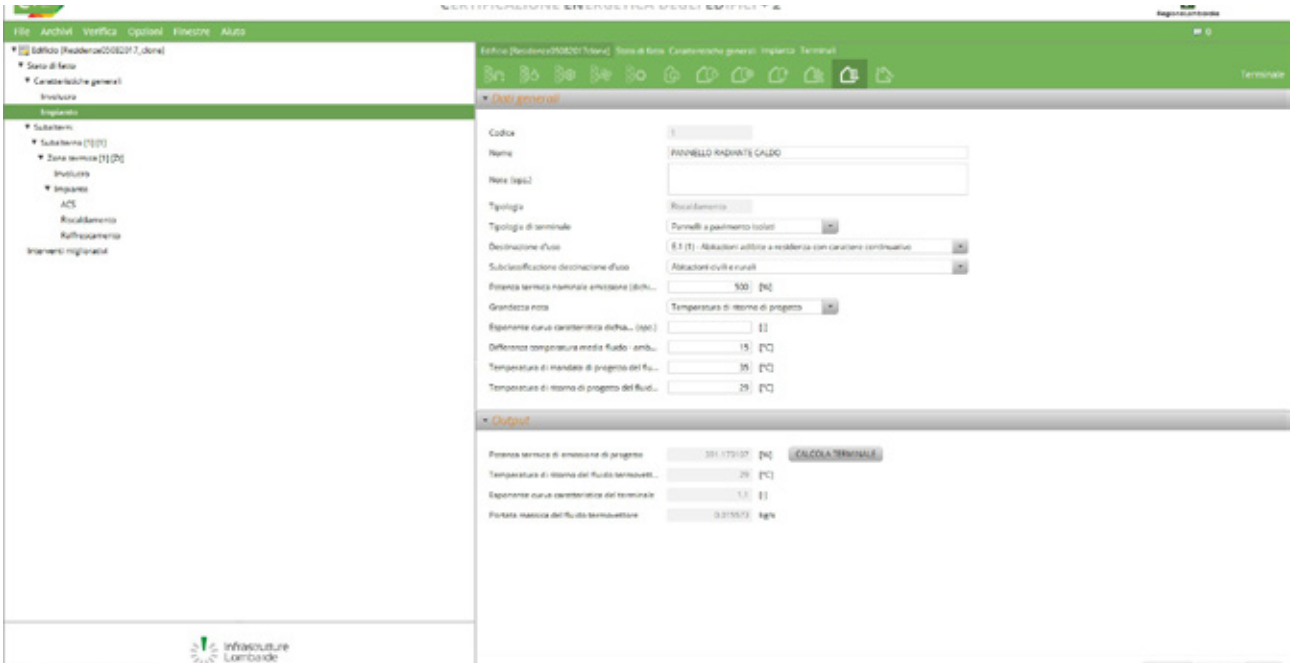


fig. 4.265 - *Dati impianto fotovoltaico: centrale elettrica*

fig. 4.266 - *Dati terminali dell'impianto*



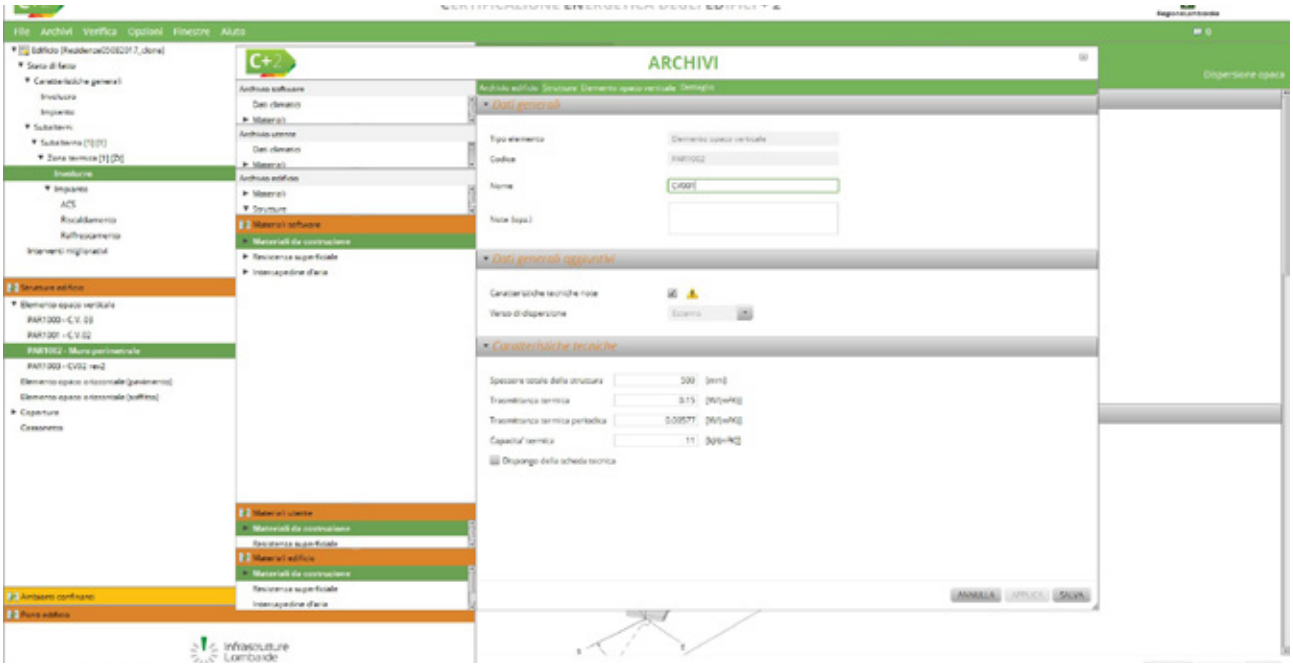
Successivamente si procede alla definizione degli elementi costituenti i singoli subalterni e le relative Zone termiche di pertinenza.

Infatti, oltre alle caratteristiche dell'involucro e degli impianti è importante considerare il rapporto con il terreno e gli eventuali ambienti confinanti se climatizzati o meno o se, come nel nostro caso, comunicanti con una serra solare. Anche quest'ultima è considerata come Zona Termica (Zt): è definita come parte dell'edificio, cioè insieme di ambienti a temperatura controllata o climatizzati, per la quale si abbia sufficiente uniformità spaziale nella temperatura dell'aria (ed eventualmente nell'umidità) e per la quale si abbia un unico e comune valore prefissato della grandezza controllata (temperatura e, eventualmente, umidità), si abbia la stessa tipologia di occupazione e destinazione d'uso (carichi interni), nonché lo stesso tasso di ventilazione, e che, per ogni servizio, sia servita da un'unica tipologia di sistema impiantistico, ovvero da più tipologie tra loro complementari.

Nell'APE tutti questi dovranno essere riferiti di volta in volta ad una sola unità immobiliare caratterizzata dai precedenti dati geometrici quali superficie utile netta, volume lordo e altezza netta media. Inoltre per ogni Zona termica di ciascun subalterno di cui l'edificio è composto, si deve procedere all'implementazione di tutte le superfici disperdenti dell'involucro e delle caratteristiche dell'impianto.

Prima di procedere al calcolo finale occorre creare un archivio contenente tutti i dati relativi all'involucro, ai serramenti e alla descrizione dei ponti termici.

fig. 4.267 - *Dati per gli archivi*



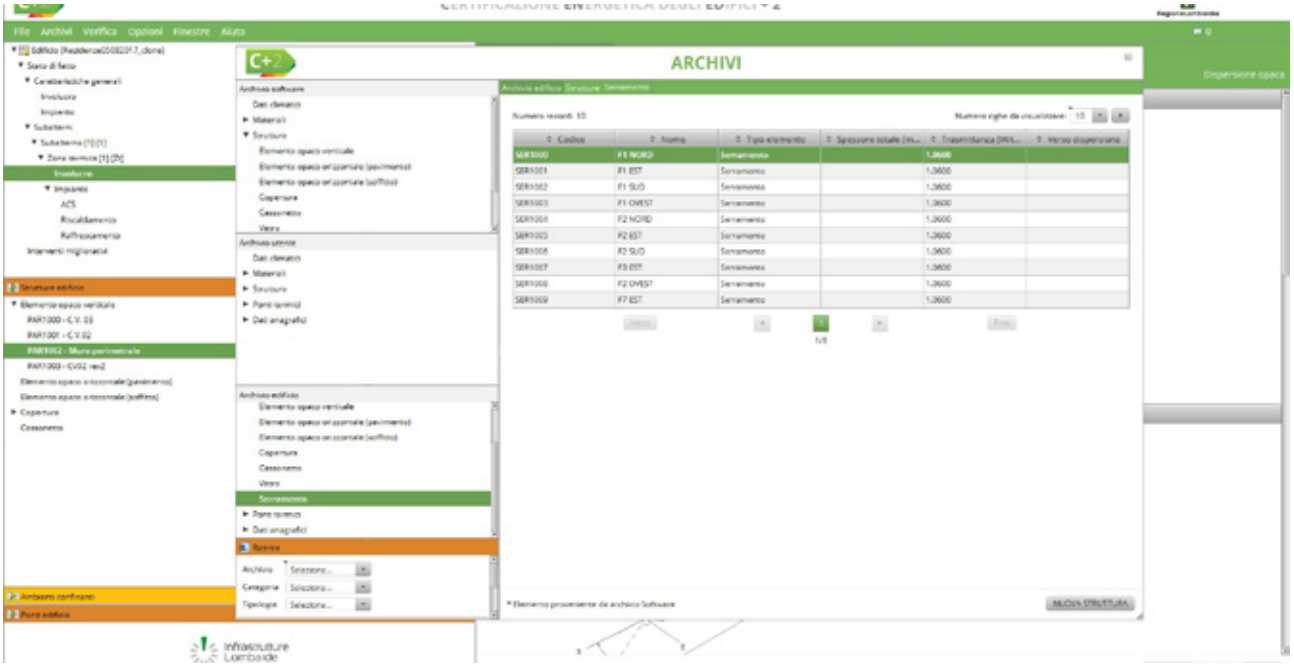


fig. 4.268 - *Dati serramenti per gli archivi*

fig. 4.269 - *Dati involucro per gli archivi*

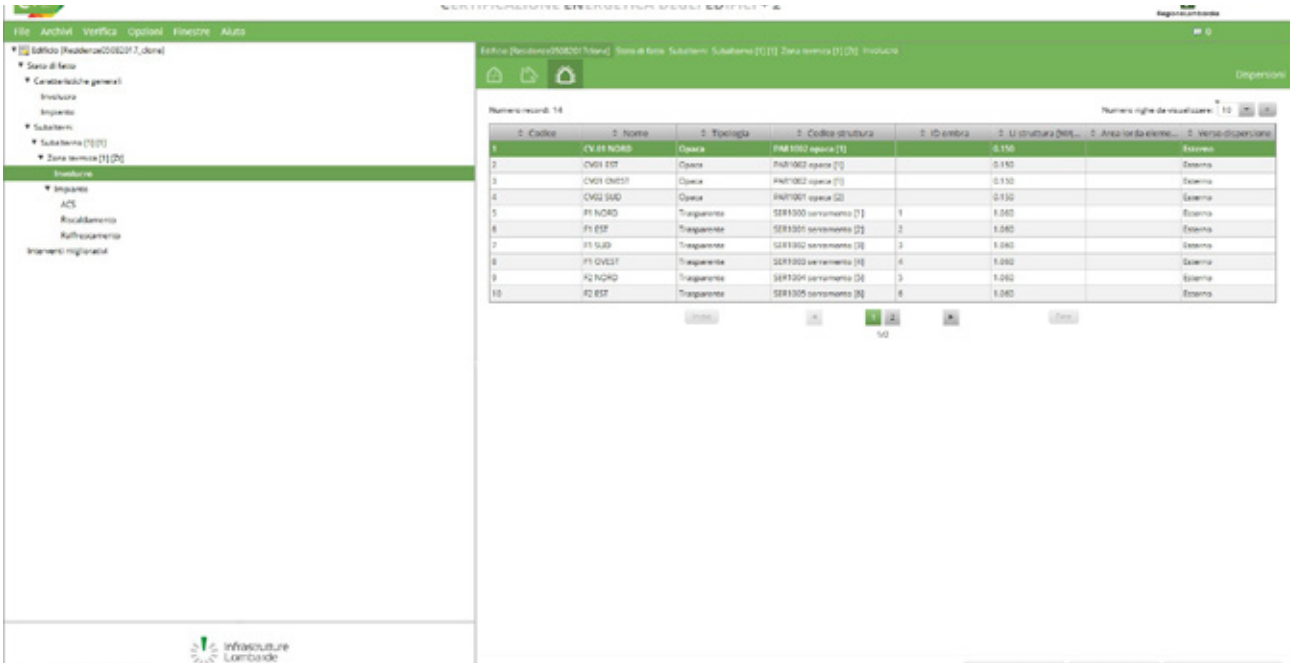
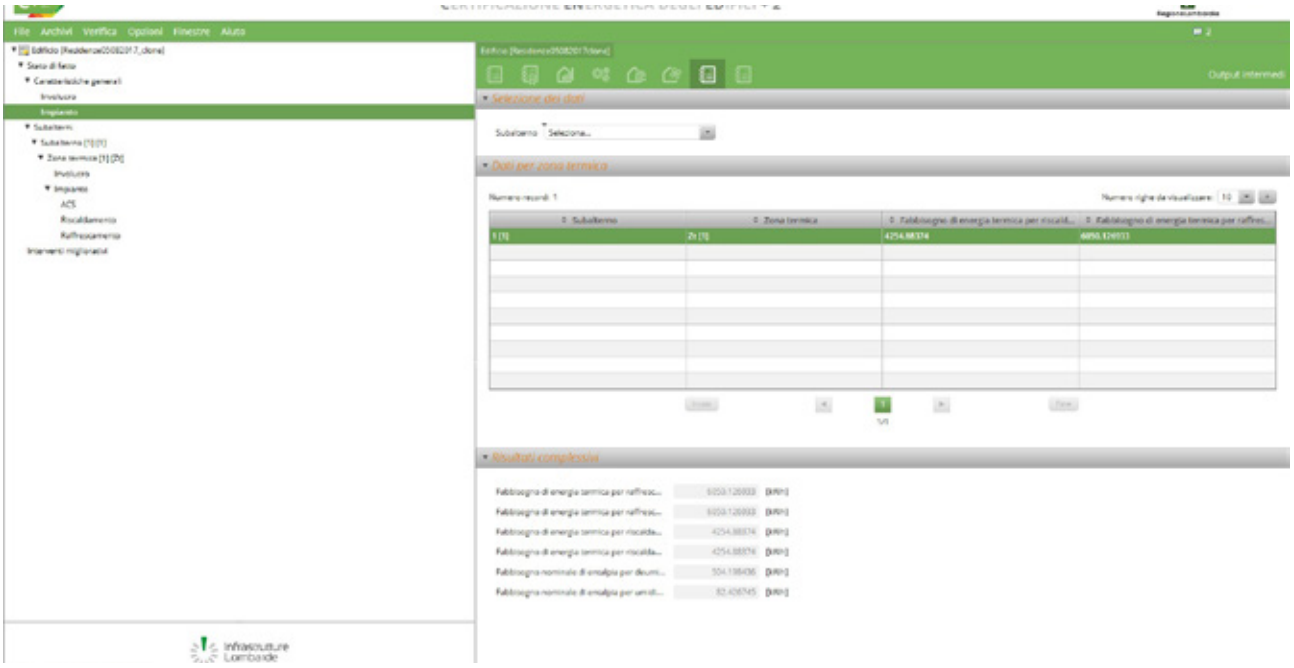


fig. 4.270 - *Dati per i archivio ponti termici*

La prestazione energetica degli edifici è determinata sulla base della quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per la climatizzazione invernale, la climatizzazione estiva, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e le scale mobili.

È ora possibile elaborare il calcolo del fabbisogno energetico dell'appartamento considerato

fig. 4.271 - *Calcolo finale*



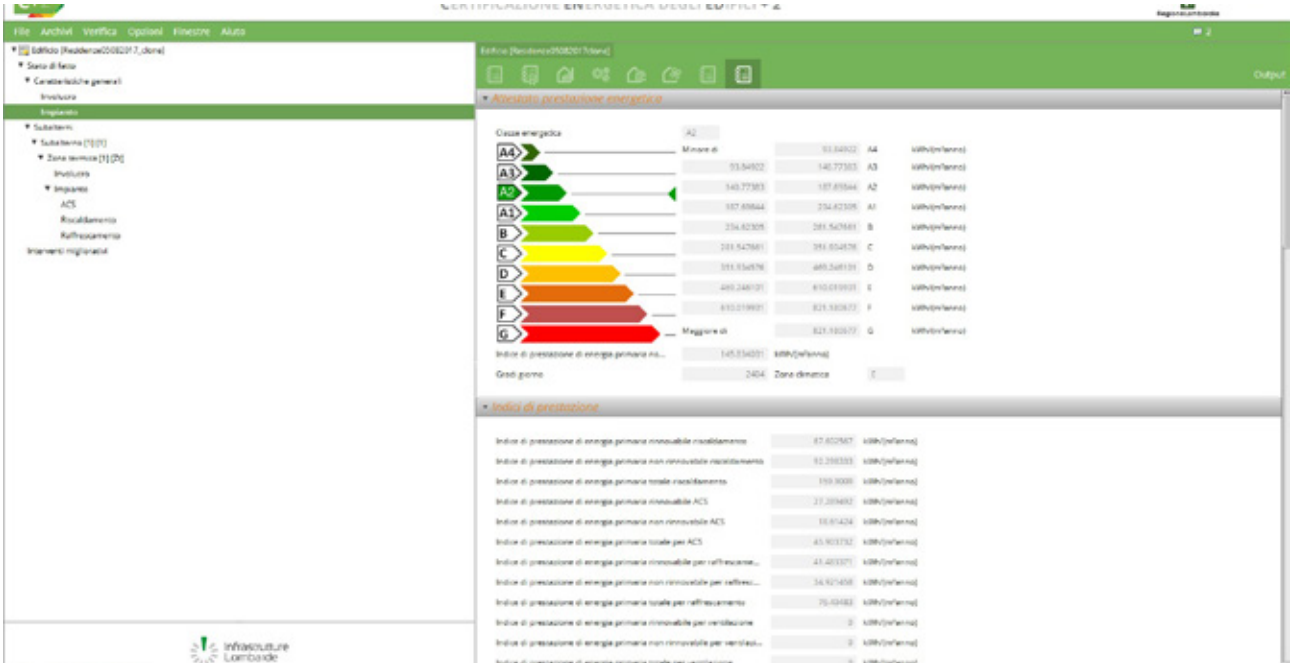


fig. 4.272 - *Classificazione energetica*

Conclusioni

Il caso studio ha ottenuto una classe energetica pari a A2.

	Classe A4	≤ 0,40 $EP_{gl,nren,rif}$
0,40 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe A3**	≤ 0,60 $EP_{gl,nren,rif}$
0,60 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe A2**	≤ 0,80 $EP_{gl,nren,rif}$
0,80 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe A1**	≤ 1,00 $EP_{gl,nren,rif}$
1,00 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe B**	≤ 1,20 $EP_{gl,nren,rif}$
1,20 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe C**	≤ 1,50 $EP_{gl,nren,rif}$
1,50 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe D**	≤ 2,00 $EP_{gl,nren,rif}$
2,00 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe E**	≤ 2,60 $EP_{gl,nren,rif}$
2,60 $EP_{gl,nren,rif}$ <	**Classe F**	≤ 3,50 $EP_{gl,nren,rif}$
	Classe G	> 3,50 $EP_{gl,nren,rif}$

Tabella 5 - Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile

L'Attestato di Prestazione Energetica eseguito in fase di progettazione dimostra come l'edificio possa essere etichettato come nZEB dopo la sua realizzazione qualora fossero certificate tutte le caratteristiche previste.

Infatti tutti i parametri inseriti e richiesti dalla Legge definiscono un manufatto con caratteristiche e performances migliori di quelle standard che caratterizzano l'edificio di riferimento, ovvero la grande novità della nuova metodologia di calcolo.

L'inserimento di un sistema di ventilazione meccanizzata VCM come intervento migliorativo servirà per migliorare ulteriormente le prestazioni dell'edificio e quindi la classe energetica.

fig. 4.273 - *APE*

Regione Lombardia
Infrastrutture Lombarde

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL:

APE 2015

DATI GENERALI

Destinazione d'uso

- [x] Residenziale
- [ ] Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E.1 (1)

Oggetto dell'attestato

- [ ] Intero edificio
- [x] Unità immobiliare
- [ ] Gruppo di unità immobiliari

Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 8

- [x] Nuova costruzione
- [ ] Passaggio di proprietà
- [ ] Locazione
- [ ] Ristrutturazione importante
- [ ] Riqualificazione energetica
- [x] Altro: TESI

Dati identificativi

FOTO EDIFICIO

Regione : Lombardia
Comune : MILANO
Indirizzo : VIA PALERMO 15
Piano : 2
Interno : 1
Coordinate GIS :

Zona climatica : E
Anno di costruzione : 2017
Superficie utile riscaldata (m^2) : 83,24
Superficie utile raffrescata (m^2) : 83,24
Volume lordo riscaldato (m^3) : 307,99
Volume lordo raffrescato (m^3) : 307,99

Comune catastale	MILANO	Sezione		Foglio	5	Particella	5
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a
Altri subalterni	TAMI						

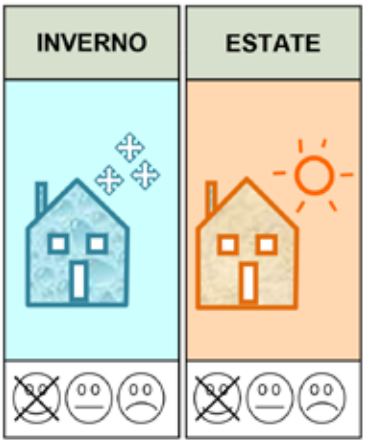
Servizi energetici presenti

- [x] Climatizzazione invernale
- [x] Climatizzazione estiva
- [ ] Ventilazione meccanica
- [x] Prod. acqua calda sanitaria
- [ ] Illuminazione
- [x] Trasporto di persone o cose

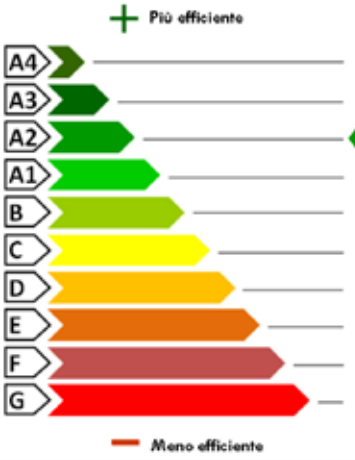
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO ✓

CLASSE ENERGETICA A2

$EP_{gl,nren}$ 145,83 kWh/m^2 anno

Riferimenti

Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:

Se nuovi: A1(189,97)

Se esistenti:

FAC-SIMILE

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VALIDO FINO AL:

PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard.

Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia

	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard (specificare unità di misura)	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
☑	Energia elettrica da rete	6225,24 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EPgl,nren kWh/m² anno 145,83
☐	Gas naturale		
☐	GPL		
☐	Carbone		
☐	Gasolio e Olio combustibile		
☐	Biomasse solide		Indice della prestazione energetica rinnovabile EPgl,ren kWh/m² anno 136,38
☐	Biomasse liquide		
☐	Biomasse gassose		
☑	Solare fotovoltaico	5276,92 kWh	
☐	Solare termico		
☐	Eolico		Emissioni di CO_2 kg/m² anno 32,40
☐	Teleriscaldamento		
☐	Teleraffrescamento		
☑	Altro (specificare) pompe di calore	3149,11 kWh	

FAC-SIMILE

RACCOMANDAZIONI

La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE

INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento ($EP_{gl,nren}$ kWh/m² anno)	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
REN1					*kWh/m² anno*
REN2					
REN3					
REN4					
REN5					
REN6					

Regione Lombardia
Infrastrutture Lombarde

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: **VALIDO FINO AL:**

APE 2015

ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

Energia esportata	346,24	**kWh/anno**	**Vettore energetico:** elettricit

ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

V – Volume riscaldato	307,99	**m^3**
S – Superficie disperdente	197,09	**m^2**
Rapporto S/V	0,64	
$EP_{H,nd}$	51,12	**kWh/m^2anno**
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$	0,07	**-**
Y_{IE}	0,01	W/m^2K

DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kW	Efficienza media stagionale		EPren	EPnren
Climatizzazione invernale	Pompa di calore	2017		Energia elettrica	7,00	0,55	η_H	67,60	92,30
Climatizzazione estiva	Pompa di calore	2017		Energia elettrica	8,00	0,78	η_C	41,48	34,92
Prod. acqua calda sanitaria	Pompa di calore	2017		Energia elettrica	7,00	0,88	η_W	27,29	18,61
Impianti combinati									
Produzione da fonti rinnovabili	Impianto fotovoltaico				4,50				
	Pompa di calore				7,00				
Ventilazione meccanica									
Illuminazione									
Trasporto di persone o cose	Ascensore	2017		Energia elettrica	5,00				

FAC-SIMILE

Regione Lombardia
Infrastrutture Lombarde

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: **VALIDO FINO AL:**

APE 2015

INFORMAZIONI SUL MIGLIORAMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA

La sezione riporta informazioni sulle opportunità, anche in termini di strumenti di sostegno nazionali o locali, legate all'esecuzione di diagnosi energetiche e interventi di riqualificazione energetica, comprese le ristrutturazioni importanti.

FAC-SIMILE

SOGGETTO CERTIFICATORE

☐ Ente/Organismo pubblico	☑ Tecnico abilitato	☐ Organismo/Società

Nome e Cognome / Denominazione	Giani Massimiliano
Indirizzo	via Silvio Pellico 8, Cornate d'Adda (Monza e Brianza)
E-mail	max.giani6@gmail.com
Telefono	3201539224
Titolo	Laurea magistrale in ingegneria
Ordine/iscrizione	Ordine degli ingegneri
Dichiarazione di indipendenza	Attraverso l'asseverazione dell'Attestato di Prestazione Energetica il Soggetto certificatore contestualmente dichiara, ai sensi dell'articolo 47 del Decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445, di non trovarsi in nessuna delle condizioni di incompatibilita' di cui al Decreto n. 6480 e s.m.i..
Informazioni aggiuntive	

SOPRALLUOGHI E DATI DI INGRESSO

E' stato eseguito almeno un sopralluogo/rilievo sull'edificio obbligatorio per la redazione del presente APE?	Si

SOFTWARE UTILIZZATO

Il software utilizzato risponde ai requisiti di rispondenza e garanzia di scostamento massimo dei risultati conseguiti rispetto ai valori ottenuti per mezzo dello strumento di riferimento regionale?	Si
Ai fini della redazione del presente attestato è stato utilizzato un software che impieghi un metodo di calcolo semplificato?	No

Il presente attestato è reso, dal sottoscritto, in forma di dichiarazione sostitutiva di atto notorio ai sensi dell'articolo 47 del D.P.R. 445/2000 e dell'articolo 15, comma 1 del D.Lgs 192/2005 così come modificato dall'articolo 12 del D.L 63/2013. Si dichiara, ai sensi dell'art. 19 del DPR 445/2000, che la presente copia cartacea è conforme al file dell'attestato di prestazione energetica depositato nel Catasto Energetico Edifici Regionale.

Data di emissione_____ **Firma e timbro del tecnico o firma digitale**_____

Regione Lombardia
Infrastrutture Lombarde

ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: **VALIDO FINO AL:**

APE 2015

LEGENDA E NOTE PER LA COMPILAZIONE

Il presente documento attesta la **prestazione** e la **classe energetica** dell'edificio o dell'unità immobiliare, ovvero la quantità di energia necessaria ad assicurare il comfort attraverso i diversi servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in condizioni convenzionali d'uso. Al fine di individuare le potenzialità di miglioramento della prestazione energetica, l'attestato riporta informazioni specifiche sulle prestazioni energetiche del fabbricato e degli impianti. Viene altresì indicata la classe energetica più elevata raggiungibile in caso di realizzazione delle misure migliorative consigliate, così come descritte nella sezione "**raccomandazioni**" (pag.2).

PRIMA PAGINA

Informazioni generali: tra le informazioni generali è riportata la motivazione alla base della redazione dell'APE. Nell'ambito del periodo di validità, ciò non preclude l'uso dell'APE stesso per i fini di legge, anche se differenti da quelli ivi indicati.
Prestazione energetica globale (EPgl,nren) : fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in base al quale è identificata la classe di prestazione dell'edificio in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente).
Prestazione energetica del fabbricato: indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del confort interno, indipendente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice da un'indicazione di come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'ambiente esterno. La scala di valutazione qualitativa utilizzata osserva il seguente criterio:

QUALITA' ALTA	QUALITA' MEDIA	QUALITA' BASSA

I valori di soglia per la definizione del livello di qualità, suddivisi per tipo di indicatore, sono riportati nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del d.lgs. 192/2005.
Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e del decreto ministeriale sui requisiti minimi previsto dall'articolo 4, comma 1 del d.lgs. 192/2005. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ). Una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione indica l'appartenenza dell'edificio oggetto dell'APE a questa categoria.
Riferimenti: raffronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio simile ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero contraddistinti da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quello oggetto dell'attestato.

SECONDA PAGINA

Prestazioni energetiche degli impianti e consumi stimati: la sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile dell'immobile oggetto di attestazione. Tali indici informano sulla percentuale di energia rinnovabile utilizzata dall'immobile rispetto al totale. La sezione riporta infine una stima del quantitativo di energia consumata annualmente dall'immobile secondo un uso standard, suddivisi per tipologia di fonte energetica utilizzata.
Raccomandazioni: di seguito si riporta la tabella che classifica le tipologie di intervento raccomandate per la riqualificazione energetica e la ristrutturazione importante.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE EDIFICIO/UNITA' IMMOBILIARE - Tabella dei Codici

Codice	TIPO DI INTERVENTO
REN1	FABBRICATO - INVOLUCRO OPACO
REN2	FABBRICATO - INVOLUCRO TRASPARENTE
REN3	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - INVERNO
REN4	IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE - ESTATE
REN5	ALTRI IMPIANTI
REN6	FONTI RINNOVABILI

TERZA PAGINA

La terza pagina riporta la quantità di energia prodotta in situ ed esportata annualmente, nonché la sua tipologia.
Riporta infine, suddivise in due sezioni relative rispettivamente al fabbricato e agli impianti, i dati di maggior dettaglio alla base del calcolo.

FACSIMILE

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

BiPV - tecnologie a confronto

capitolo 05

Nell'attuale contesto energetico ed ambientale globale è diventato rilevante e prioritario (anche a seguito del protocollo di Kyoto) l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra e di sostanze inquinanti, anche mediante lo sfruttamento di fonti energetiche alternative e rinnovabili, che affianchino e riducano l'utilizzo di combustibili fossili, i quali sono oltretutto destinati ad esaurirsi per il considerevole consumo da parte di diversi Paesi. Il Sole è certamente una fonte di energia rinnovabile dalle grosse potenzialità, a cui si può attingere nel rispetto dell'ambiente. Basti pensare che istante per istante la superficie dell'emisfero terrestre esposto al Sole riceve una potenza maggiore di 50 mila TW; la quantità di energia solare che arriva sul suolo terrestre è quindi enorme, circa diecimila volte superiore a tutta l'energia usata dall'umanità nel suo complesso. Tra i diversi sistemi che utilizzano fonti di energie rinnovabili, il fotovoltaico è promettente per le qualità intrinseche del sistema stesso, poiché ha ridottissimi costi d'esercizio (il combustibile è gratuito) e limitate esigenze di manutenzione, è affidabile, silenzioso e relativamente semplice da installare. Inoltre il fotovoltaico, in alcune applicazioni isolate, è sicuramente conveniente in confronto ad altre fonti energetiche, specie in luoghi in cui sia difficoltoso ed antieconomico giungere con tradizionali linee elettriche. Nel panorama italiano il fotovoltaico sta avendo un forte incremento grazie al Conto Energia, un meccanismo di sovvenzione per il settore fotovoltaico che prevede la remunerazione, con incentivi erogati dal GSE (Gestore dei Servizi Elettrici), dell'energia elettrica prodotta da impianti connessi alla rete.

5.1 STATO DELL'ARTE

L'elettricità prodotta da fonte solare è tema di discussione sul piano internazionale poiché si tratta di energia pulita, affidabile e distribuita sul territorio. La ricerca ha determinato decisivi progressi nelle tecnologie del settore, ponendo i sistemi fotovoltaici in una posizione di rilievo tra le fonti energetiche chiamate, nel futuro prossimo, a ri- spondere alle pressanti richieste del mercato dell'energia. I successi ottenuti hanno lasciato, in ogni caso, spazio a critiche e domande, basate talvolta su verità parziali, talvolta su "miti" che accompagnano questa tecnologia fin dai suoi primi passi.

Come è cambiata la percezione del fotovoltaico agli occhi del cittadino? Se al tempo delle prime commercializzazioni il fotovoltaico veniva scelto inizialmente per motivi etici soprattutto dagli ecologisti, ora i pannelli sono una realtà vicina a sempre più famiglie che anche per ragioni economiche vogliono rendersi autonomi dai principali gestori di energia elettrica. Infatti un impianto a pannelli solari fotovoltaici può essere installato sui tetti delle abitazioni senza particolari lavori alla struttura dell'edificio; e se il tetto non ha la corretta installazione, un parco fotovoltaico può essere posizionato anche a terra.

Il bacino di utenti potenziali interessati al tema è aumentato anche grazie agli incentivi che permettono alle famiglie di investire su prodotti eco sostenibili ammortizzando l'investimento con le detrazioni fiscali statali o locali.

In ultima, c'è un crescente interesse nello sviluppo tecnologico dei pannelli solari fotovoltaici; in Italia ad esempio il Politecnico di Milano è un centro di studi all'avanguardia che sta testando e sviluppando pannelli fotovoltaici che combinano la riduzione del costo di produzione ad una crescente efficienza energetica.

5.2 CENNI STORICI

5.2.1 I PIONIERI (1839 – 1917)

1839: Edmond Becquerel, a diciannove anni, scopre l'effetto fotovoltaico durante alcuni esperimenti con celle elettrolitiche, osservando il formarsi di una d.d.p. tra due elettrodi identici di platino, uno illuminato e l'altro al buio; la d.d.p. dipendeva dall'intensità e dal colore della luce.
1873: Willoughby Smith scopre la fotoconducibiltà del selenio.
1876: Due scienziati britannici, Adams e Day, osservano il selenio convertire la luce del sole direttamente in elettricità, senza riscaldare un fluido e senza utilizzare parti mobili. Giunzioni di selenio e suoi ossidi metallici vengono utilizzate ancor oggi per la produzione di luxmetri.
1883: Fritts descrive il funzionamento di una cella fotovoltaica nel tentativo di simulare l'occhio umano.
1904: Hallwachs scopre l'effetto fotovoltaico in un dispositivo a base di rame.
1914: Il rendimento delle celle al selenio si aggira intorno all'1%. Oggi, in laboratorio, le celle al silicio e altri materiali raggiungono quasi il 40%.
1917: Kennard e Dieterich usano il concetto di barriera di potenziale per spiegare l'effetto fotoelettrico.

5.2.2 LO SVILUPPO DELLE TECNOLOGIE

I primi dispositivi basati sul silicio si possono osservare già nei primi anni '40. Ma è nella primavera del 1953 che, studiando il silicio e le sue possibili applicazioni nell'elettronica, Gerald Pearson, fisico presso i laboratori Bell, costruì involontariamente una cella solare a silicio molto più efficiente di quella a selenio. Altri due scienziati della Bell – Darryl Chapin e Calvin Fuller – perfezionarono la scoperta di Pearson e realizzarono la prima cella in grado di convertire in elettricità abbastanza energia solare per alimentare dispositivi elettrici di uso quotidiano: il primo giorno di sole del 1954 la cella al silicio funzionava con un rendimento del 6%. Negli anni '60 si cominciò a pensare di produrre "nastri e fogli" di silicio, per cercare di risolvere il problema degli ingenti sprechi di materiale dovuti al taglio dei lingotti. Ancora negli anni '60 Shurland propose l'utilizzo del solfuro di Cadmio, e nel '67 era pronta la prima cella a solfuro di cadmio depositato su plastica.
Negli anni '70 cominciarono ad essere sviluppate, nell'ambito delle applicazioni spaziali, celle all'arseniuro di Gallio, le quali presero definitivamente piede nell'ultimo decennio del secolo.
Vennero sviluppati procedimenti per produrre silicio policristallino, meno costosi e meno dispendiosi di quelli per il monocristallino. Dopo la crisi petrolifera del '73 Carson ottiene per caso una pellicola sottile di silicio amorfo idrogenato, che nel '76 raggiunge il rendimento del 5,5%. In quegli anni il DOE PV Research and Development Programme sperimentava pellicole sottili al silicio cristallino, e tutta una gamma di nuovi materiali: CIS, CdTe, InP, Zn_3P_2, Cu_2Se, WSe_2, GaAs, ZnSiAs.
È interessante notare che l'utilizzo di pellicole sottili era già stato proposto dallo stesso Chapin, all'epoca delle sue prime scoperte.
Nei primi anni '80 Barnett, per conto della SERI, si interessò al tellururo di cadmio e alle pellicole di silicio policristallino, fondando la società "AstroPower", oggi ben nota. Sempre nei primi anni '80, Martin Green, lavorando alla tecnologia del silicio, sostituì la serigrafia con solchi in rame realizzati con il laser. Nel 1988 i fogli si silicio venivano ricavati da poligoni ottagonali, migliorando il rendimento del processo e diminuendo la fragilità.
Nel 1997 veniva "lanciata" la prima cella a giunzione tripla a silicio amorfo.

I ricercatori del FV hanno avuto un ruolo chiave nella scoperta di nuovi materiali semiconduttori e strutture ibride, e diedero importanti contributi alle tecniche di crescita epitassiale e di crescita delle pellicole lattice-matched; una delle prime applicazioni delle strutture ibride a semiconduttore sull'GaAs e le giunzioni III-V, sviluppate originariamente per i campi FV a concentrazione. In 50 anni di ricerche sul fotovoltaico, mentre questo beneficiava dell'esplosione della tecnologia microelettronica del silicio, produceva nel contempo nuove conoscenze a beneficio di quella stessa industria elettronica con cui era intimamente legato.

5.2.3 LE APPLICAZIONI

L'Aeronautica e l'Esercito statunitensi seguirono molto da vicino lo sviluppo della cella solare a silicio presso i laboratori Bell. Entrambi ritenevano che il fotovoltaico potesse costituire la fonte energetica ideale per un progetto top-secret: i satelliti artificiali orbitanti attorno alla Terra. Grazie a un'assidua crociata condotta da Hans Ziegler, del corpo del Genio Trasmissioni dell'esercito statunitense, la Marina Militare installò sui satelliti un sistema energetico a due sorgenti – batterie chimiche e celle solari al silicio – sul satellite Vanguard; mentre le batterie si esaurirono dopo una settimana circa, le celle solari funzionarono per anni.

Già dalla fine degli anni '50 il fotovoltaico forniva elettricità ai satelliti americani e sovietici. Gli ingegneri del solare progettarono moduli sempre più potenti, mentre il nucleare non realizzò mai le aspettative per i satelliti spaziali. Alla fine degli anni '70 le celle solari erano ormai diventate fonte energetica abituale per i satelliti artificiali, e così è ancora oggi. La tecnologia era invece troppo costosa per gli usi terrestri, e lo rimase fino ai primi anni Settanta, quando Elliot Berman, sostenuto finanziariamente dalla Exxon, progettò un modulo solare notevolmente più economico. Il primo acquirente importante di celle solari per uso terrestre fu l'industria petrolifera, che se ne servì in luoghi non serviti dalle linee elettriche: pannelli fotovoltaici vennero usati al posto di batterie tossiche (ingombranti e dalla vita breve) per alimentare le luci di segnalazioni sulle piattaforme petrolifere del Golfo del Messico e nei campi di estrazione del petrolio e del metano, dove servono piccole quantità di elettricità per combattere la corrosione delle teste dei pozzi e dei condotti.

Nel 1974 Johh Oades, ingegnere presso una controllata della GTE, progettò un ripetitore a bassissima potenza per il quale era sufficiente l'energia fotovoltaica. Così non ci fu più il problema di trasportare carburante o batterie nelle impervie zone montane dove venivano installati i ripetitori, e nelle piccole comunità del West degli Stati Uniti i residenti smisero di percorrere grandi distanze per poter effettuare una telefonata interurbana. L'Australia, con una popolazione relativamente piccola distribuita su un territorio molto ampio, cominciò a installare reti di comunicazione a energia fotovoltaica già nel 1978. Alla metà degli anni '80 le celle solari erano diventate la fonte energetica di elezione per le reti remote di telecomunicazioni in tutto il mondo.

Nel 1977 il Capitano Lloyd Lomer, della Guardia Costiera statunitense, diede il via ad un programma fotovoltaico per alimentare le boe isolate e i fari costieri. Oggi la maggior parte degli ausili per la navigazione in tutto il mondo funziona a celle solari. Verso la metà degli anni '70 molte compagnie ferroviarie ricorsero al fotovoltaico per alimentare i dispositivi di segnalamento e di smistamento necessari per la sicurezza del traffico ferroviario, funzionanti grazie ai sistemi di comunicazione a microonde. Le comunicazioni fra le stazioni ferroviarie poterono fare a meno dei pali e dei cavi telefonici lungo i binari.

Quando, sempre negli anni '70, la grande siccità colpì la regione del Sahel in Africa, padre Bernard Verspieren avviò un programma di pompaggio fotovoltaico per attingere acqua dalle falde acquifere che fa ormai da modello per il mondo in via di sviluppo. A quei tempi, in tutto il mondo c'erano meno di dieci pompe fotovoltaiche. Oggi ce ne

sono decine di migliaia.

Negli anni '80 l'ingegnere svizzero Markus Real dimostrò la validità della generazione distribuita installando moduli solari da tre kilowatt su 333 tetti di Zurigo. Da allora, nessuno parla più di centrali elettriche fotovoltaiche, e i vari governi stanno sviluppando piani di incentivazione finanziaria per incoraggiare i cittadini a solarizzare i propri tetti.

Poiché il costo dell'installazione delle linee di trasmissione elettrica è estremamente elevato, oltre due miliardi di persone nei paesi in via di sviluppo sono ancora prive di elettricità di rete. Intanto, però, in metà delle famiglie delle isole della Polinesia francese, nelle zone rurali del Kenya, nella Repubblica Dominicana e nel Centroamerica, migliaia di persone alimentano lampadine, televisori e radio con l'elettricità solare.

L'affidabilità e la versatilità del fotovoltaico in ambiente spaziale e terrestre hanno impressionato molti addetti ai lavori nell'industria elettrica e delle telecomunicazioni. Oggi la Banca Mondiale e molti organismi internazionali ritengono che le celle solari "abbiano un ruolo importante e sempre crescente nella fornitura di servizi elettrici nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo".

5.2.4 IL FOTOVOLTAICO IN ITALIA

Nell'agosto del '61, in occasione della prima Conferenza Internazionale delle Nazioni Unite sulle Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili, svoltasi a Roma, vennero presentate numerose opere sullo stato dell'arte e sulle prospettive del fotovoltaico.

Dopo la crisi petrolifera del 1973 il CNR cominciò a fabbricare celle solari, vennero fondate la Solare S.p.a e la Helios Technology, inizialmente nota come Secies. Nel 1979, al Passo della Mandriola, nella comunità dell'appennino Cesenate, venne installato il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 kW, frutto di una collaborazione tra l'istituto LAMEL del CNR, l'ENEL, la Riva Calzoni e la Helios Technology.

Negli anni '90 l'Italia era primo posto in Europa per la potenza installata in impianti fotovoltaici (circa 25 MW), e nel 1993 nacque il Piano Fotovoltaico Nazionale, al quale parteciparono, tra gli altri, l'ENEA, l'ENI Eurosolare e l'Helios Technology.

5.3 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente ed istantaneamente l'energia solare in energia elettrica senza l'utilizzo di alcun combustibile. La tecnologia fotovoltaica sfrutta infatti l'effetto fotovoltaico, per mezzo del quale alcuni semiconduttori opportunamente "drogati" generano elettricità se esposti alla radiazione solare.

I principali vantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in:

- generazione distribuita nel luogo dove serve;
- assenza di emissione di sostanze inquinanti;
- risparmio di combustibili fossili;
- affidabilità degli impianti poiché non vi sono parti in movimento (vita utile di norma superiore ai 20 anni);
- ridotti costi di esercizio e manutenzione;
- modularità del sistema (per incrementare la potenza dell'impianto è sufficiente aumentare il numero di pannelli) secondo le reali esigenze dell'utente. Tuttavia, il costo iniziale per la realizzazione di un impianto fotovoltaico è ancora piuttosto elevato a causa di un mercato che non ha ancora raggiunto la piena maturità tecnica ed economica. Inoltre la produzione è discontinua a causa della variabilità della fonte energetica solare.

La produzione elettrica annua di un impianto fotovoltaico dipende da diversi fattori

tra cui:

- radiazione solare incidente sul sito di installazione;
- inclinazione ed orientamento dei pannelli;
- presenza o meno di ombreggiamenti;
- prestazioni tecniche dei componenti dell'impianto (principalmente moduli ed inverter).

I materiali, a seconda della loro attitudine alla conduzione della corrente, vengono suddivisi in conduttori, semiconduttori ed isolanti. I semiconduttori presentano una conducibilità elettrica migliore di quella degli isolanti e peggiore di quella dei conduttori.

Il semiconduttore più usato nella tecnologia fotovoltaica è il silicio. Il silicio occupa il posto n. 14 nella tavola periodica degli elementi di Mendeleev. Ha 4 elettroni negli orbitali più esterni (2 nell'orbitale 3s e 2 nell'orbitale 3p).

Il cristallo di silicio ha gli atomi disposti ai vertici di un tetraedro regolare. Ciascun atomo completa la sua orbita esterna (contenente al massimo 8 elettroni) utilizzando gli elettroni di valenza dei 4 atomi vicini e realizzando una struttura particolarmente stabile. Ogni elettrone di valenza viene condiviso da due atomi adiacenti ed è fortemente legato al nucleo. Se si spezzano i legami covalenti il semiconduttore diventa conduttore. Per rompere i legami bisogna fornire energia al cristallo. Se l'energia viene fornita dalla luce (fotoni) si parla di effetto fotoelettrico.

La conduzione elettrica nei semiconduttori non dipende solo dalla presenza di eletroni liberi (come avviene nei conduttori) ma anche dall'assenza di elettroni nei legami covalenti cioè dalle lacune.

Infatti quando un legame covalente è incompleto si forma un buco (lacuna) che può venire occupato da un elettrone di valenza di un atomo vicino che lascia libera un'altra lacuna. In realtà avvengono tanti piccoli spostamenti di tanti elettroni diversi ciascuno dei quali lascia il legame covalente in una coppia di atomi per crearne uno analogo in una coppia vicina.

5.3.1 SEMICONDUTTORI

I semiconduttori drogati

Per aumentare la conducibilità di un semiconduttore si accresce il numero delle cariche mobili (elettroni o lacune) immettendo nel materiale quantità infinitesime di elementi aventi una diversa struttura atomica chiamati impurità. Gli atomi di questi elementi prendono il posto di altrettanti atomi nel reticolo cristallino. Si dice che il semiconduttore viene drogato.

Semiconduttore di tipo p

Per arricchire il semiconduttore di lacune si introducono atomi di boro (o di un altro elemento trivalente) nel reticolo cristallino. Il boro occupa la posizione n. 5 della tavola periodica degli elementi ed ha tre elettroni negli orbitali più esterni (2 nell'orbitale 2s e 1 nell'orbitale 2p). Quando un atomo di boro sostituisce un atomo di silicio nel reticolo cristallino uno dei legami non può essere completato e si forma una lacuna che equivale ad una carica positiva.

In questo caso il numero di lacune (pari al numero di atomi di impurità introdotti) risulta maggiore di quello delle coppie elettrone-lacuna proprie del silicio intrinseco, la conducibilità è stata aumentata introducendo cariche positive ed il semiconduttore viene detto di tipo p. I droganti trivalenti (boro, alluminio, indio e gallio) vengono detti anche accettori.

Semiconduttore di tipo n

Per arricchire il semiconduttore di elettroni si introducono atomi di fosforo (o di un altro elemento pentavalente) nel reticolo cristallino. Il fosforo occupa la posizione n. 15 nella tavola periodica degli elementi ed ha 5 elettroni negli orbitali più esterni (2 nell'orbitale 3s e 3 nell'orbitale 3p). Quando un atomo di fosforo sostituisce un atomo di silicio nel reticolo cristallino solo 4 elettroni di valenza formano i legami covalenti. Il quinto elettrone resta libero. Il numero di elettroni liberi (pari al numero di atomi di impurità introdotti) risulta maggiore di quello delle coppie elettrone–lacuna del materiale intrinseco, la conducibilità è stata aumentata utilizzando cariche negative ed il semiconduttore è di tipo n. I droganti pentavalenti (fosforo, arsenico e antimonio) vengono chiamati donatori.

fig. 5.274 - *Cella fotovoltaica in silicio monocristallino*

La giunzione P-N

Se in un cristallo di silicio si introducono droganti accettori da un lato e donatori dall'altro si realizza una giunzione p-n. La concentrazione delle cariche libere è diversa nelle due zone quindi alcune lacune attraversano la giunzione dalla zona p alla zona n e si ricombinano con gli elettroni, allo stesso modo alcuni elettroni attraversano la giunzione dalla zona n alla zona p e si ricombinano con le lacune. A cavallo della giunzione si crea una zona povera di cariche libere chiamata zona di svuotamento (depletion region). In figura 5 sono rappresentati solo gli atomi delle impurità pensati come ioni, cioè come cariche fisse con accanto la corrispondente carica mobile (lacune nella zona p ed elettroni nella zona n). Si noti come nella regione di svuotamento siano presenti solo cariche fisse (negative nella parte p e positive nella parte n). La presenza di queste cariche non neutralizzate crea un campo elettrico e, quindi, una differenza di potenziale chiamata potenziale di contatto. Questa differenza di potenziale si oppone alla diffusione delle cariche libere e, ad un certo punto, si raggiunge una condizione di equilibrio.

5.4 LA CELLA FOTOVOLTAICA

La cella fotovoltaica è un diodo a giunzione formato da due zone quasi neutre e da una regione di svuotamento. Le zone quasi-neutre presentano ai loro capi i contatti metallici. La zona drogata più pesantemente è detta emettitore mentre quella drogata meno pesantemente viene chiamata base o regione di assorbimento perché l'emettitore è molto sottile e la maggior parte della luce arriva alla base.
La corrente di cella è data dalla relazione:

$$I=I_{sc}-I_{01}(e^{qV/kT}-1)-I_{02}(e^{qV/2kT}-1)$$

dove:

- I_{sc} è la corrente di cortocircuito data dalla somma delle correnti nelle tre regioni (regione p, regione n e regione di svuotamento);
- I_{01} è la corrente di saturazione in assenza di luce (dark saturation current) nelle zone quasi neutre;
- I_{02} è la corrente di saturazione in assenza di luce (dark saturation current) nella regione di svutamento;
- $q=1{,}602\times10^{-19}$C è la carica dell'elettrone;
- V è la tensione ai morsetti della cella;
- $k=1{,}38\times10^{-23}$J/°K è la costante di Boltzmann;
- T è la temperatura assoluta della cella.

La dark saturation current è un parametro molto importante perché è una misura della ricombinazione delle cariche in una cella. Maggiore è I0 e più numerose sono le ricombinazioni delle cariche.

Una cella fotovoltaica è di buona qualità se:

- ha un'elevata corrente di cortocircuito ISC;

- ha un'elevata tensione a vuoto VOC;
- ha un filling factor FF il più vicino possibile a 1.

L'efficienza di conversione di una cella fotovoltaica è la percentuale di energia luminosa trasformata in energia elettrica. Per le celle attualmente in commercio è compresa tra il 12% ed il 17%. Si elencano le cause di perdita di efficienza di una cella:

- non tutti i fotoni che colpiscono la superficie della cella hanno energia sufficiente per rompere un legame e formare una coppia elettrone–lacuna;
- alcuni fotoni hanno energia troppo elevata: una parte di questa energia genera la coppia elettrone–lacuna e la rimanente viene dissipata in calore;
- parte della luce viene riflessa;
- alcune coppie elettrone-lacuna si ricombinano all'interno della cella;
- perdite resistive dovute ai contatti metallici e alla resistenza interna della cella;
- presenza dell'elettrodo superiore che scherma la parte del seniconduttore sottostante.

5.4.1 IL SILICIO CRISTALLINO

Il silicio cristallino (c-Si), che rappresenta uno degli elementi più diffusi sulla Terra (anche se non esiste allo stato puro), è il materiale semiconduttore tradizionalmente utilizzato per la realizzazione di celle solari, rappresenta circa l'80% del mercato dell'energia solare. Attualmente esso offe le migliori prestazioni din termini di rapporto qualità/costo. La sua facile reperibilità si scontra con l'elevato costo di produzione e al suo trattamento in fabbrica. Per essere opportunamente sfruttato, infatti, esso deve essere caratterizzato da un'adeguata struttura molecolare che può essere monoscristallina, policristallina o amorfa. Le differenti configurazioni molecolari sono determinate dalla disposizione degli atomi dell'elemento. nella struttura monocristallina gli atomi sono orientati nello stesso verso e legati uniformemente tra loro; in quella policristallina gli atomi si presentano aggregati in piccoli grani monocristallini orientati in modo casuale; nella struttura amorfa, gli atomi sono orienatti in modo casuale, come in un liquido, pur conservando le tipiche qualità dei solidi. Il materiale di partenza per il processo di fabbricazione del silicio è rappresentato dalla comune silice (SiO_2) da cui, tramite risuzione con carbone in fornaci ad arco ad alta temperatura (circa 2000°C) si ottiene il silicio metallurgico. Da quest'ultimo, mediante trattamento con acido cloridrico e distillazione frazionata, si ottiene un coposto gassoso purissimo, il triclorosilano ($SiHCl_3$) che, a sua volta, viene ridotto con idrogeno ad alta temperatura (intorno ai 1100°C), dando origine a materiale policristallino di grado elettronico. Il metodo appena descritto prende il nome di processo Siemens e, dal punto di vista energetico, si dimostra piuttosto intensivo, con un consumo di circa 200kWh per kg di materiale.

Per ottenere una struttura cristallografica perfetta, il silicio così ottenuto deve essere reso monocristallino mediante ulteriori trattamenti. Il metodo di catalizzazione attualmente più diffuso tra le industrie elettroniche e fotovoltaiche è il cosiddetto *processo Czochralsky*. Il wafer deve essere formato da silicio con un elevato grado di purezza e con gli atomi disposti "ordinatamente" in un reticolo cristallino (monocristallino). Il silicio prodotto con le tecniche ordinarie (silicio metallurgico) ha invece una struttura policristallina (oltre ad avere una purezza insufficiente per l'uso in elettronica). Il silicio è un atomo tetravalente, in quanto appartenente al quarto gruppo della tavola periodica; la disposizione degli elettroni di legame fa sì che una struttura cristallina di silicio sia formata da un insieme di piramidi a base triangolare, ognuna delle quali data da un atomo che possiamo considerare trovarsi nel centro della piramide e dai quattro elettroni di legame che si vengono sostanzialmente a trovare sui vertici della struttura. Il processo consiste nel sollevamento verticale (tramite un apparato chiamato puller o estrattore) e contemporaneamente nella rotazione antioraria, di un seme monocristallino di silicio, appropriatamente orientato (per esempio con il piano <111> disposto orizzontalmente)

e introdotto nel silicio fuso mediante un'asta metallica, mentre il crogiolo gira in senso opposto. La parte del seme 'immersa' fonde, ma la parte restante lambisce la superficie del fuso. Durante il sollevamento/rotazione, avviene una progressiva solidificazione all'interfaccia fra solido e liquido, generando un monocristallo di grandi dimensioni. Le velocità di crescita tipiche si aggirano intorno ad alcuni millimetri al minuto.

Gli atomi di silicio fuso, a contatto con il seme monocristallino, si orientano secondo il reticolo atomico della struttura del silicio; si tratta di un processo simile alla formazione di un cristallo di quarzo, ma con la differenza che in natura un cristallo di quarzo si forma in milioni di anni, mentre con questo processo di laboratorio un "pane" di silicio monocristallino si ottiene in pochi giorni.

La temperatura del silicio nel crogiolo è mantenuta di pochi gradi superiore a quella di fusione, e aderendo al seme monocristallino, si solidifica molto rapidamente conservando la struttura monocristallina del seme a cui aderisce. Il controllo rigoroso della temperatura del materiale fuso, dell'atmosfera nella camera, e della velocità di estrazione, nonché assenza assoluta di vibrazioni, consente la produzione di fusi perfettamente cilindrici e altamente puri.

Per ottenere il silicio monocristallino della qualità in assoluto più elevata si usa invece il metodo *float-zone process*, secondo il quale il materiale allo stato policristallilno viene sagomato in barre cillindriche e quindi fuso localmente con una bobina, tramite induzione a radiofrequenza. La bobina, e quindi la zona dove si realizza la fusione, viene fatta scorrere lungo la barra, partendo da un seme monocristallino posto a una estremità, cosicché il silicio assume la struttura cristallografica voluta senza venire a contatto con elementi estranei.

Per produrre una quantita' utile di energia, le celle di silicio vengono raggruppate in pannelli (o moduli) a loro volta collegati in stringa. Solitamente, celle costituite da c-Si hanno un'efficienza di conversione del 15-17%. I passaggi previsti per la realizzazione di pannelli commerciali in silicio cristallino sono i seguenti:

- polisilicio: la raffinazione del silicio di grado metallurgico, spesso ottenuta tramite un reattore Siemens ed un processo di riciclaggio che prevede l'utilizzo di tecnologia avanzata come l'idroclorurazione o clorurazione;
- lingotti: la lavorazione di barre cilindriche di monocristallino o la solidificazione di blocchi di silicio policristallino per ottenere i lingotti;
- wafer: l'utilizzo di seghe elettriche per il taglio dei lingotti di mono o policristallino per la realizzazione di wafer;
- celle: una catena di processi permette poi la produzione di celle: texture e pulizia del wafer, diffusione, isolamento, rivestimento anti-riflettente e stampa della schermata;
- moduli: infine, le celle vengono interconnesse via saldatura, laminate sottovuoto tra strati di EVA, incapsulate e incorniciate. Cosi' avviene l'assemblaggio dei moduli solari.

5.4.2 TECNOLOGIE DEI MODULI

I moduli fotovoltaici sono costituiti da diversi materiali semi-conduttori, tra cui i principali sono:

Silicio monocristallino

- formato da un singolo cristallo di silicio
- alto rendimento (>15%)
- colore blu scuro uniforme
- tecnologia costruttiva complessa (costi più ele- vati rispetto al policristallino)

Silicio policristallino

- formato da più cristalli di silicio
- rendimenti tra l'11% ed il 14%
- colore blu spesso non uniforme
- tecnologia costruttiva più semplice rispetto al monocristallino (costi inferiori)

Telloruro di Cadmio

- efficienza 11% circa
- colore omogeneo della superficie
- miglior de-rating termico rispetto ai moduli cristallini (minor perdita di potenza ad alte tempera- ture)
- minor costo/Wp (- 15% circa) rispetto ai moduli cristallini
- migliore rendimento con luce diffusa rispetto ai moduli cristallini

Silicio amorfo

- formato da atomi silicei in struttura disorganizzata
- consistente perdita di rendimento nei primi mesi di vita
- spessori dell'ordine del micron
- flessibile e adattabile a superfici curve migliore comportamento in caso di ombreggiamento localizzato.

Materiali innovativi

Se la politica per esigenze di bilancio decide di tagliare in giro per il mondo i costi di incentivazione all'energia solare, l'evoluzione della ricerca tecnologica sarà in grado di consentire, comunque, una sempre maggiore diffusione di questa energia rinnovabile, magari con materiali, forme e anche performances diversi rispetti a quelli che conosciamo oggi.

I soliti e vituperati pannelli, ad esempio, con tutta probabilità lasceranno il posto a pellicole sempre più sottili e trasparenti, ma soprattutto molto più efficienti e con prezzi concorrenti da piena grid parity. Non è cieco ottimismo, ma la cronaca della naturale evoluzione dei materiali utilizzati nel solare. Si tratta del passaggio dalla prima generazione, quella storica vissuta nel quotidiano, alla seconda, quella del silicio amorfo e di altri semiconduttori, che passerà poi la mano alla consacrazione definitiva attraverso la nuova generazione "organica".

Ma tra la fantascienza in pillole e il vorticoso sviluppo attuale c'è ancora di mezzo l'economia reale, quella capacità d'impresa che si sostiene grazie all'industria tradizionale fatta di catene di montaggio ed economia di scala. Chi realizza moduli - ma si potrebbe dire anche di qualsiasi altro manufatto - per competere si concentra nei piccoli cambiamenti

di prodotto, nel solco già conosciuto e dal know-how consolidato, non pensando al modello che potrà essere sul mercato tra dieci anni.

Tra le tendenze più a lungo termine - che fanno riferimento a dispositivi basati su semiconduttori organici - cercheremo infine di analizzare punti di forza e limiti potenziali per capire dove andrà il mercato, per riuscire a cogliere quali potranno essere le future opportunità.

La **prima generazione** si destreggia oggigiorno tra aumentata efficienza e leggerezza.

Le celle monocristalline o multicristalline di silicio di prima generazione coprono oggi il mercato mondiale con quote comprese tra il 90% e il 95%. La produzione attuale consente potenze anche molto elevate e record di efficienza prossime al 20%.

E' possibile costatare il progresso fatto: si è partiti dal 5% delle celle del lontano 1954 e si è arrivati al 24,7% del 1999. Negli ultimi dieci anni c'è stato un lievissimo miglioramento che ha portato il record al 25% nel 2008. È possibile stimare un valore teorico massimo previsto per il silicio, pari a circa il 26 - 27%. Il valore sperimentale ottenuto rappresenta circa il 94% del massimo teorico. Da ciò si può dedurre che l'attuale tecnologia delle celle al silicio ha praticamente raggiunto il suo limite: ulteriori miglioramenti potranno essere soltanto marginali1.

A tutti i laboratori di R&D i produttori chiedono di trovare la soluzione migliore per un nuovo prodotto che abbia grosso modo queste caratteristiche: un'aumentata efficienza di conversione delle celle e della loro superficie fotosensibile, una ricerca di materiali che porti a moduli sempre più flessibili e realizzati con materiali al minor costo possibile. Nella realtà di tutti i giorni, stante le difficoltà di mercato provocato dal crollo dei prezzi, le aziende sono chiamate però a puntare anche su altre caratteristiche.

Tra queste una maggiore leggerezza del modulo ottenuta attraverso il "dimagrimento" e l'assottigliamento dello stesso, con effetti complessivamente positivi su molti fronti.

Suntech Power, il maggior produttore al mondo di pannelli fotovoltaici, ha presentato una nuova versione della sua Serie-W di moduli fotovoltaici da 60 celle. I vantaggi del nuovo modulo, sono proprio nel nuovo design più leggero e sottile. Lo spessore del frame è stato ridotto da 50mm a 35mm, e il peso totale del modulo è stato a sua volta notevolmente diminuito, da 19,1 kg a 18,2 kg. Tali modifiche dovrebbero rendere anzitutto il modulo più maneggevole durante l'installazione. Il nuovo frame è adottato da Suntech per tutti i nuovi moduli da 260W, in grado di raggiungere un livello di efficienza di conversione del modulo pari al 16%.

Anche *Jinko Solar* ha messo in commercio moduli più leggeri e sottili dei moduli tradizionali. Con un peso ridotto fino a 1,5 kg e uno spessore che arriva a soli 20 mm, questi pannelli sono disponibili nelle versioni mono e policristallina, con una produzione fino a 260 watt.

Perde peso e riduce il proprio impatto ambientale anche *Renewable Energy Corporation* (REC). L'azienda europea ha lanciato il nuovo REC Peak Energy Eco, un modulo solare saldato senza l'utilizzo di piombo. L'innovazione produttiva costante di REC ha consentito di eliminare tutto il piombo normalmente necessario nel processo di saldatura, con una conseguente drastica riduzione del piombo contenuto nei moduli.

Per i pannelli di **seconda generazione** si è puntato più che altro ad un vestito su misura.

Si parla di fotovoltaico di seconda generazione da quando sono state impiegate tecnologie a film sottile al posto del silicio cristallino. La scelta, banalmente, è basata sulla decisa riduzione dei costi di realizzazione delle celle di prima generazione. Il periodo di recupero energetico (Energy pay back time) è in fatti pari al tempo necessario ad una tecnologia per ammortizzare il costo del suo ciclo produttivo (per i dispositivi al silicio cristallino sono circa 4 o 5 anni).

Questa tecnologia, poi, oltre ad utilizzare una minore quantità di silicio, consente di ottenere moduli con spessore inferiore (non superiore a qualche micron), rispetto a quelli della prima generazione, oltre che a una maggiore flessibilità dal punto di vista

meccanico.

I moduli vengono realizzati con strati sottili di materiali semiconduttori microcristallini, che si prestano alla deposizione in strati su lamine di sostegno, come il *silicio amorfo*, il *di-seleniuro di rame indio gallio*, *il tellurio di cadmio*. Per questa tecnologia, che tra l'altro richiede temperature di lavorazione sensibilmente inferiori alle precedenti, è stato possibile realizzare un processo industriale quasi completamente automatizzato, in grado di portare anche una forte riduzione dei costi di produzione, garantendo così nuove interessanti potenzialità sul mercato. Dal punto di vista delle applicazioni le opportunità sono molteplici grazie alla loro elasticità in grado di adattarsi alla realizzazioni dalle forme più varie, con caratteristiche anche di semitrasparenza e o ad effetto cromatico.

Entrando nel merito delle caratteristiche del silicio amorfo (a-Si), l'aspetto più interessante per le applicazioni fotoelettriche, è la possibilità di poterlo depositare a basse temperature (fino a 75°C) su superfici di vetro o di materiale plastico. È possibile utilizzare anche una giunzione ibrida silicio amorfo/silicio microcristallino. I due materiali, entrambi semiconduttori, hanno caratteristiche complementari rispetto all'assorbimento della radiazione solare.

Il *di-seleniuro di rame indio gallio* (CIGS) è invece un tipo di materiale usato come materiale fotoassorbente per le celle solari a film sottile ed ha il coefficiente di assorbimento fra i più alti, tra i materiali utilizzati. È anche per questo che viene considerato uno dei semiconduttori più promettenti nell'ambito della ricerca sulle celle solari.

Il *telleruro di cadmio* (CdTe) ha invece caratteristiche simili all'arseniuro di gallio o al silicio ma meno costoso, poiché sia il cadmio che il tellurio sono considerati materiali di scarto nei processi di estrazione dei minerali non ferrosi. L'efficienza mostrata è inferiore al 10% e la pone tra le peggiori nelle tabelle di comparazione.

Ci sono, tuttavia, anche diverse controindicazioni nell'uso di queste tipologie di materiali: dopo alcune ore di esposizione, l'efficienza si abbassa fino al 6-7% per poi stabilizzarsi su questo livello. Ma resta anche un altro problema da risolvere, ossia l'inquinamento dei materiali, infatti, ad eccezione del silicio amorfo, gli altri materiali presentano caratteristiche di tossicità, che comportano problematiche di smaltimento a cessato utilizzo, oltre che alle varie precauzioni da applicare per la messa in sicurezza durante il loro periodo di attività.

La questione dell'efficienza rimane comunque il nuovo terreno di confronto per tutti. L'interesse per questa tecnologia è di casa anche in Italia, grazie al progetto per la produzione di moduli, condotto nei laboratori del Dipartimento di Fisica di Parma, che ha portato alla realizzazione di celle solari a base di CdTe/CIS (Diseleniuro di Rame e Indio) con un'efficienza di conversione, tra le più alte, di oltre 15% in un processo di produzione semplificato ed innovativo.

L'aumento della superficie fotosensibile dei dispositivi ha condotto alla realizzazione di *celle multigiunzione*. Lo scopo principale per chi studia, sperimenta e realizza celle fotovoltaiche, è quello di migliorare sempre di più l'efficienza dei dispositivi nel convertire la radiazione solare in energia elettrica. L'area delle celle di produzione industriale è andata, in effetti, continuamente aumentando nel tempo, essendo passata dai circa 20 cm^2 delle prime celle ai 225 cm^2 delle celle attuali (a sezione quadrata di lato pari a 15 cm).

La teoria che sta alla base dell'approccio per migliorare l'efficienza di conversione delle celle fotovoltaiche risiede nel concetto di riuscire a raccogliere e utilizzare l'energia dei fotoni dell'intero spettro solare.

La **terza generazione** del fotovoltaico si basa su concetti innovativi che solo adesso, dopo aver ricevuto conferme sperimentali in laboratorio, cominciano a interessare i produttori che ormai si stanno aggiungendo ad avviare la fatidica fase della produzione industriale. Il nocciolo della questione sta nel fatto che una cella realizzata con un singolo materiale semiconduttore riesce a sfruttare soltanto una piccola porzione dello spettro solare. In poche parole si può dire che i dispositivi sono sensibili soltanto a determinati colori. Ad esempio, il silicio è in parte sensibile al blu, molto sensibile al verde e al giallo e poco al rosso, mentre è completamente insensibile all'infrarosso.

Per il silicio, più della metà dello spettro solare sfugge alla conversione fotovoltaica e l'energia a esso associata viene persa. Tutto ciò limita l'efficienza di quei dispositivi che basano la produzione di energia elettrica sulle caratteristiche particolari possedute dal silicio; ed è proprio la volontà di abbattere questa barriera a spingere sempre più la ricerca sulle celle fotovoltaiche di terza generazione.

Uno dei principali risultati ottenuti sono avvenuti grazie alle celle multi-giunzione, che hanno in effetti trovato nel solare a concentrazione il modo per aumentare notevolmente l'efficienza. In questi sistemi la luce solare viene raccolta da lenti o specchi e poi viene indirizzata a una cella di dimensione molto piccola, dove viene sfruttata la sua elevata efficienza. Questo tipo di celle sono state sviluppate per i pannelli fotovoltaici dei satelliti spaziali e hanno raggiunto i migliori risultati in termini di efficienza.

In questo caso si crea un dispositivo unico capace di massimizzare la conversione della radiazione solare attraverso più strati sensibili in grado di assorbire lo spettro di emissione del Sole sull'intero intervallo di luce visibile.

La sovrapposizione dei vari strati viene realizzata in maniera tale che i fotoni che non sono assorbiti dal primo strato, attraversano la cella, che appare loro abbastanza trasparente, e per cui senza grosse perdite di energia vengono assorbiti dalla cella sottostante. In questo modo si altera, ampliando, la risposta spettrale della cella e di conseguenza la corrente generata risulta superiore al caso in cui avessi una singola giunzione. In questo modo si sfrutta in maniera più completa lo spettro solare.

Con la terza generazione non c'è l'ambizione di riuscire a sostituire il silicio, o la tecnologia a film sottile, ma di sviluppare nel breve-medio termine una tecnologia basata su materiali di derivazione "ambientale" con disponibilità pressoché illimitata. Ecco dunque le celle solari basate su semiconduttori di origine organica che sembrano avere potenzialità molto promettenti, sia per quanto riguarda l'efficienza di conversione, sia per la stabilità/durata nel tempo.

L'interesse per lo sviluppo di *celle fotovoltaiche con tecnologie organiche* che utilizzano semiconduttori polimerici o ibridi, è sempre più forte a livello internazionale sia da parte dei centri di ricerca pubblici e industriali.

Da un lato ci sono le celle solari organiche che basano il loro funzionamento sulla cooperazione di semiconduttori di natura esclusivamente organica e vengono anche chiamate OPVs (Organic Photovoltaics). Possono essere polimeri (ma anche monomeri o dendrimeri) depositati in film sottili, possono essere solubili in vari solventi o insolubili. I film sottili di polimeri, di solito, si trovano in uno stato vetroso.

Dall'altro, ecco le *celle ibride* che vengono anche dette *a colorante sensibilizzatore* (*DSSCs, Dye Sensitized Solar Cells*). Esse sono composte da un semiconduttore di natura organica (colorante, Dye) e da uno di natura inorganica. I pigmenti provengono dall'industria chimica delle vernici, si tratta di piccole molecole aventi proprietà specifiche adatte all'assorbimento della luce e la generazione di cariche. I pigmenti solitamente si trovano sottoforma di film sottili policristallini. I coloranti (dye) hanno invece la stessa struttura e le stesse proprietà elettriche dei pigmenti solo che si presentano in forma liquida.

Sviluppi futuri

Ulteriori ricerche si stanno conducendo per migliorare sempre più l'efficienza e abbassare i costi sia di reperimento dei materiali che di produzione dei manufatti. Alcune interessanti proposte sono già state fatte.

Una nuova barriera sta per essere abbattuta, nel campo della produzione di energia solare. Un gruppo di ricerca dell'Università di Stanford, in California, ha infatti sviluppato un metodo che permette di generare elettricità sfruttando simultaneamente la luce e il calore solare. La tecnica si chiama Pete (acronimo per Photon Enhanced Thermionic Emission) e il suo obiettivo è tanto semplice quanto ambizioso: aumentare l'efficienza dei pannelli e ridurre i costi di produzione di energia solare a tal punto da renderla

ufficialmente competitiva nei confronti del petrolio.

I risultati riscontrati dopo i primi test su Pete sono incoraggianti. Attualmente esistono due approcci per ottenere energia elettrica dal sole. I pannelli fotovoltaici (approccio quantico) producono una corrente elettrica sfruttando l'energia dei fotoni per eccitare gli elettroni di un semiconduttore (in genere, il silicio). I pannelli solari termodinamici (approccio termodinamico) invece utilizzano le radiazioni solari come sorgente di energia termica, che viene incamerata in speciali fluidi poi utilizzati per alimentare turbine a vapore. Il sistema Pete riesce a sfruttare entrambi i processi. Il che dovrebbe essere impossibile, dal momento che pannelli fotovoltaici e termici lavorano a intervalli di temperatura radicalmente diversi (sopra i 100 gradi C°, infatti, il silicio perde le sue proprietà di semiconduttore e le celle fotovoltaiche cessano di produrre energia).

Per sciogliere questo nodo, la squadra guidata da Nick Melosh ha sostituito il silicio con il nitruro di gallio - un semiconduttore capace di lavorare a energie più alte - poi, al fine di catturare anche quella importante porzione di energia solitamente persa sotto forma di calore, ha aggiunto un secondo strato metallico a base di Cesio, per aumentare ulteriormente la produzione di elettroni attraverso un meccanismo conosciuto come effetto termoionico.

Se gli ordinari pannelli fotovoltaici lavorano solo al di sotto dei 100 gradi centigradi, il nuovo prototipo raggiunge una buona efficienza solo al di sopra dei 200 gradi. Questo significa che potrebbe essere accoppiato ai concentratori solari parabolici - che possono raggiungere temperature di oltre 800 gradi - per ottenere efficienze mai raggiunte finora. Parliamo di un'efficienza di conversione che, stando alle previsioni dello stesso Melosh, si aggira intorno al 60%.

Una cifra importante considerando che, allo stato attuale, le celle fotovoltaiche arrivano a intorno al 20% e che i prototipi più avanguardistici invece raggiungono un picco del 40%.

Quest'ultimo è il caso delle celle multigiunzione che tuttavia, a causa degli elevati costi di produzione, vengono utilizzate solo nell'areonautica e nelle spedizioni spaziali. Nelle celle multigiunzione i semiconduttori vengono disposti su diversi strati al fine di catturare una gamma più ampia di lunghezze d'onda dalle radiazioni solari. Il prototipo Pete promette di raggiungere vette d'efficienza ancora maggiori, senza raggiungere costi così elevati.

Certo, nei primi test le celle a base di nitruro di gallio e cesio hanno dimostrato di poter garantire un'efficienza ben al di sotto della percentuale teorica. Melosh e colleghi di dicono tuttavia sicuri di poter raggiungere quota 60 utilizzando un altro semiconduttore - l'arseniuro di Gallio, ad esempio.

Ma gli ipotetici vantaggi dell'approccio Pete non si fermano qui, esiste anche un aspetto economico. "Le alte concentrazioni solari rendono possibile ridurre il costo dei materiali riducendo le dimensioni del pannello" si legge nel paper pubblicato da Melosh e colleghi su Nature Materials "I dispositivi Pete sono naturalmente sinergici con le macchine termiche e potrebbero essere implementati collegandoli alle infrastrutture termico-solari esistenti. Anche un solo modulo Pete mediamente efficiente, in tandem con una macchina termica, potrebbe raggiungere un'efficienza totale superiore agli altri dispostivi oggi utilizzati".

La squadra guidata da Melosh ha sicuramente aperto un orizzonte di ricerca innovativo, ma non è l'unica. Mentre il Sole, come testimoniano i recenti rilevamenti del Dipartimento di Eliofisica della Nasa, sta entrando in nuova fase di attività, sulla Terra diversi centri di ricerca stanno studiando nuovi metodi per catturare, incamerare e riconvertire i 50 milioni di GigaWatt che ogni giorno la nostra stella riversa sulla crosta terrestre. Alla Eindhoven University of Technology si studiano celle solari che sfruttano nanostrutture filamentose per ottenere efficienze superiori al 60%; al Lawrence Berkeley National Laboratory invece stanno sperimentando l'aggiunta di selenio ai materiali fotovoltaici per catturare ancora più energia dalle radiazioni solari. In Italia, di recente, ha aperto a Milano il Centro Internazionale sulla Fotonica per l'Energia, che nei prossimi

tre anni si occuperà di sviluppare un prodotto pre-industriale che aumenti l'efficienza di conversione a partire dalle nanotecnologie.

5.4.3 OMBREGGIAMENTO E DIODI DI BY-PASS

L'ombreggiamento anche di una piccola parte dell'impianto può ridurne drasticamente la produzione. Per questo è fondamentale valutare con attenzione que- sto aspetto e, in fase di progettazione, posizionare l'impianto in modo che questo non sia oscurato da elementi architettonici, strutturali o naturali, anche a costo di rinunciare ad orientamento o inclinazione ottimali. Se un modulo, anche in parte, viene ombreggiato, al suo interno si verifica un passaggio di corrente inversa tale da produrre l'effetto hot-spot che può causarne la rottura per surriscaldamento. Per evitare questo passaggio, i moduli sono generalmente dotati di due o tre diodi di by-pass, a ciascuno dei quali fa capo un gruppo di celle. L'ombreggiamento di una cella blocca la produzione di tutto il suo gruppo (osservando il modulo, la suddivisione tra i gruppi è desumibile dal collegamento tra le celle mediante bus-bar).

Per questo la presenza di tre diodi, anziché due, può garantire una maggior produzione nel caso siano ombreggiate alcune celle. Se l'ombreggiamento è prevedibile, si consiglia di posizionare il modulo in modo che siano oscurate solo celle dello stesso gruppo, valutando ad esempio se la migliore disposizione dei moduli sia quella verticale o orizzontale. Nel caso di ombreggiamento sistematico di una stringa, si consiglia di prevedere appositi diodi di stringa utili ad escludere la serie di moduli ombreggiata.

5.4.4 MISMATCH E FLASH-REPORT

Il "mismatch" si verifica quando moduli con caratteristiche elettriche diverse sono collegati nella stessa stringa oppure quando stringhe con tensioni di lavoro differenti sono collegate in parallelo. Le caratteristiche elettriche dei moduli, che sono riportate nei flash report di norma forniti dal costruttore, sono diverse per ogni modulo, anche dello stesso lotto di produzione.

Per evitare questo fenomeno, che può causare perdite anche notevoli nella produzione (5-6% nei grandi impianti), occorre ottimizzare la disposizone dei moduli utilizzando i flash report considerando che:

- i moduli collegati in serie sono attraversati dalla medesima corrente: il valore di tale corrente è determinato dal modulo che ne produce meno;
- le stringhe connesse in parallelo non hanno la medesima tensione di lavoro: la tensione in uscita è determinata dalla tensione di stringa più bassa;
- moduli sulla stessa stringa devono avere I_{MPP} simile il più possibile;
- le tensioni V_{MPP} delle diverse stringhe (date dalla somma delle singole V_{MPP} dei moduli) devono essere simili tra loro.

5.5 COMPONENTI

5.5.1 ELEMENTI ELETTROMECCANICI

Sezionatori lato DC

Devono essere necessariamente presenti in un impianto fotovoltaico, come prescritto nell'ar- ticolo 712.536.2.1.1 della norma CEI 64-8 VI edizione, per garantire il completo sezionamento del lato corrente continua dell'impianto. L'idoneità ad interrompere la corrente continua è indicata dalla sigla DC21A o DC21B che il costruttore appone sul dispositivo o sui manuali tecnici.

Differenziale lato AC

Quando un impianto fotovoltaico include inverter sprovvisti di separazione tra il lato c.a. ed il lato c.c., per fornire protezione contro i contatti indiretti mediante interruzione automatica dell'alimentazione, deve essere installato un dispositivo differenziale di tipo B conforme al report tecnico IEC 60755/A2 secondo la norma CEI 64-8 art. 712.413.1.1.1.2. Può essere utilizzato un differenziale di tipo A o AC nel caso in cui l'inverter, su dichiarazione della casa produttrice, non sia in grado di iniettare correnti continue (c.c.) di guasto a terra dell'impianto elettrico.

Protezione contro le scariche atmosferiche

In relazione al grado di salvaguardia da sovratensioni dovute a scariche atmosferiche, gli scaricatori possono essere installati a protezione di:

- singolo modulo fotovoltaico (cella+connessioni);
- linea in corrente continua principale;
- sezione di ingresso dell'inverter (lato corrente continua);
- sezione di uscita dell'inverter (lato corrente alter- nata);
- regolatore di carica delle batterie (per impianti stand-alone);
- punto di consegna dell'energia (per impianti connessi alla rete).

Dovendo fare una selezione, si consiglia di prediligere l'utilizzo di scaricatori in ingresso all'inverter (nel caso in cui esso non ne sia già internamente dotato) e tra campo fotovoltaico e inverter nel caso in cui la distanza tra questi due componenti sia elevata. È preferibile che gli scaricatori di sovratensione per il sistema fotovoltaico abbiano le seguenti caratteristiche:

- cartucce estraibili, per manutenzione/sostituzione senza necessità di sezionare la linea;
- contatto di segnalazione remota per il monitoraggio dello stato operativo;
- riserva di funzionamento di sicurezza;
- assenza di corrente di corto circuito susseguente;
- nessun rischio in caso di inversione della polarità.

Protezione contro i contatti indiretti

Come è noto, il corpo umano, se entra in contatto con conduttori in tensione, è sottoposto al passaggio di correnti elettriche e ciò, a seconda delle condizioni di contatto e dalla configurazione dei circuiti, può provocare lesioni gravi se non irreversibili. Per questo, per un impianto fotovoltaico, è necessario effettuare la valutazione del collega- mento di messa a terra della cornice dei moduli e dell'eventuale equipotenzialità tra cornice dei moduli e sistema di fissaggio e dotare il sistema di adeguate protezioni dai contatti indiretti. Per quanto riguarda il collegamento di messa a terra, si consiglia la lettura della Guida CEI 82-25 che dà indicazioni utili per individuare la tipologia di collegamento

da effettuare sulla base della Classe di isolamento del modulo. Per quanto riguarda le protezioni, si rimanda alla Norma 64-8 dove è indicato che, qualora nell'impianto fotovoltaico non venga effettuata una semplice separazione tra lato in corrente alternata e lato corrente continua, è necessario installare un dispositivo di tipo B che permetta l'interruzione automatica. La stessa Norma prevede una deroga all'utilizzo dell'interruttore differenziale di tipo B qualora la casa produttrice dichiari che, l'inverter sia per costruzione tale da non iniettare correnti continue di guasto a terra nell'impianto elettrico.

Cavi solari

- La sezione del cavo solare va ridotta all'aumentare della tensione di sistema e al diminuire della lunghezza.
- La sezione del cavo va incrementata all'aumentare della corrente sul cavo e all'aumentare della temperatura del conduttore.

Formule per il calcolo della sezione e resistenza del conduttore:

$$s = \rho x\ L/R$$

(L = lunghezza; s = sezione; ρ= resi- stenza specifica; R = resistenza conduttore)

$$R = \Delta V/I$$

(ΔV = caduta di tensione ammessa; I = corrente massima nel conduttore)

ρ dipende dalla temperatura e si può calcolare come:

$$\rho=\rho 0\ x\ (1 + (\alpha x\ t))$$

(ρ0 = resistività a 0°C pari a 0,016 Ωmm2/m per il rame; α= coefficiente di temperatura, nel rame è 0,0042 °C-1; t = tempe- ratura del conduttore).

5.5.2 ELEMENTI IMPIANTISTICI

Nella componentistica degli elementi costitutivi di un impianto fotovoltaico, è possibile operare una prima suddivisione sommaria in due categorie principali, rappresentate dai moduli fotovoltaici da una parte e da tutta la componenstistica non fotovoltaica dall'altra. Quest'ultimo raggruppamento viene comunemente definito BOS (balance of systema) ed è composto da cavi e quadri elettrici, inverter, batterie di accumulo e regolatori di carica, ma anche dalle strutture di s ostegno e di ancoraggio. Scendendo maggiormente nel dettaglio, si possono analizzare sinteticamente i singoli subsistemi.

Il generatore

Il cuore del sistema è rappresentato dal generatore, o campo fotovoltaico. Esso è costituito dall'insieme dei moduli che convertono in energia elettrica la radiazione solare intercettata, sotto forma di energia elettrica continua. Scendendo nel dettaglio si vuole evidenziare come, oltre che dai pannelli, il generatore sia costituito da una serie di subcomponenti, che, sebbene secondari, sono indispensabili per il suo corretto funzionamento. Questi sono:

- cablaggi;
- connessioni;
- diodi;
- dispositivi di sicurezza;
- sezionatore di circuito.

Gli accumulatori

Sempre presenti nei sistemi iolati, sono invece assenti in quelli connessi alla rete. É bene notare come la sua presenza o assenza influisca notevolmente sul costo finae dell'impianto.

Si possono individuare tutta una serie di parametri che l'accumulatore di carica deve soddisfare per essere appropriato all'abbinamento con un sistema fotovoltaico. In breve:

- efficienza di carica-scarica;

- durata;
- resistenza agli sbalzi di temperatura;
- manutenzione.

Il controllo di potenza

Si è già evidenziato come il c ampo fotovoltaico sia di fatto un generatore ddi elettricità in corrente continua, la cui cartteristica tensione-corrente varia in contnuazione in relazione soprattutto alle condizioni di irraggiamento solare e temperatura dei moduli. I carichi applicati, tuttavia, presentano nella pratica caratteristiche più omogenee nel tempo e richiedono elettricità in corrente alternata a un valore costante della tensione in uscita dal generatore stesso.

Per il corretto funzionamento dell'impianto, diviene dunque necessario ricorrere ad un'apparecchiatura capace di stabilizzare e ottimizzare le prestazioni. A questo scopo si impiega un sistema di c ontrollo e condizionamento della potenza, composto da:

- un regolatore di carica;
- un inseguitore del punto di massima potenza;
- un gruppo di conversione.

L'inverter

L'iverter è in sostanza l'inertitore di c orrente continua-corrente alternata, atto a trasformare l'energia proveniente dai moduli fotovoltaici in maniera tale da ottenere energia utile alla tensione e alla frequenza desiderate.

I valori di tensione e frequenza in uscita dal dispositivo devono infatti essere compatibili con la rete elettrica cui il sistema fotovoltaico è collegato, sia essa rappresentata da un utenza isolata dotata di sistema di accumulo a batterie, sia essa la rete pubblica di distribuzione alla quale l'impianto è allacciato in parallelo. Parametri principali di cui tenere conto sono:

- efficienza di conversione;
- potenza massima d'ingresso;
- potenza massima d'uscita;
- Potenza nominale;
- tensionee massima d'ingresso;
- finestra di tensione;
- corrente massima d'ingresso.

5.6 DIMENSIONAMENTO INVERTER-MODULI

Le stringhe di moduli devono essere dimensionate in base al range di tensione minima e massima di ingresso dell'inverter.

Formule per il controllo dei valori di tensione:

- $V_M + C_T * N_{SERIE} *(Tmax-25) \geq V_{MIN\ MPPT}$ per irraggiamento di 50÷100W/m^2
- $V_M + C_T * N_{SERIE} *(Tmin-25) \leq V_{MAX\ MPPT}$ per irraggiamento di 1000W/m^2
- $V_{OC} + C_T * N_{SERIE} *(Tmin-25) \leq V_{MAX}$
- $V_{OC} + C_T * N_{SERIE} *(Tmin-25) \leq$ V di isolamento dei moduli

dove:

- $V_{MIN\ MPPT}$ = Tensione minima MPP dell'inverter
- $V_{MAX\ MPPT}$ = Tensione massima MPP dell'inverter
- V_{MAX} = Tensione massima ammissibile dall'inverter
- V_{OC} = Tensione a circuito aperto della stringa fotovoltaica = somma delle singole V_{OC} dei moduli
- V_M = Tensione alla massima potenza del campo fotovoltaico = somma delle singole V_{MPP} dei moduli
- C_T = coefficiente di temperatura del modulo in genere riportato sulle schede tecniche espresso in V/°C

5.7 TIPOLOGIE DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

A seconda del luogo e delle risorse disponibili è possibile identificare tre principali tipologie di impianto fotovoltaico.

5.7.1 SISTEMI STAND ALONE

Gli impianti fotovoltaici di tipo autonomo sono indicati in caso di assenza di collegamento alla rete elettrica (ad esempio in montagna, in aree agricole non servite dalla rete, ecc.).

Gli impianti fotovoltaici isolati vanno sempre dimensionati sulla base dei seguenti fattori:

- la zona di installazione
- il periodo di utilizzo
- la tipologia di utenza (se in corrente continua o alternata)
- i carichi da collegare (es. luci, TV, radio, ecc.).

Gli impianti fotovoltaici stand alone rappresentano la migliore soluzione per ovviare alla mancanza della rete elettrica. Pensiamo ai Paesi del Terzo Mondo e alle problematiche di approvvigionamento energetico per ospedali, scuole e asili, ma anche alle zone isolate (in montagna o campagna) non servite dalla rete elettrica nazionale. In questi contesti gli impianti isolati rappresentano una soluzione ottimale amica dell'ambiente.

Quindi, ovunque un impianto fotovoltaico grid-connected non sia possibile da installare a costi ragionevoli, è possibile ipotizzare invece un sistema fotovoltaico stand-alone per generare energia elettrica. Esempi di tale applicazione possono essere rifugi alpini o cascine in zone remote, pompe ad acqua, telefoni di emergenza, ma anche sistemi per barche o veicoli da diporto (camper, furgoni). Poiché i moduli solari per loro stessa natura possono produrre energia elettrica solo durante il giorno, è necessario pertanto immagazzinare l'energia elettrica necessaria per la notte o da utilizzare durante un giorno nuvoloso. I sistemi di immagazzinamento di energia elettrica principalmente in uso sono batterie al piombo ricaricabili, grazie alla loro capacità di immagazzinamento con alta efficienza a basso e ad alto voltaggio di input.

L'impianto fotovoltaico fornisce alla batteria una tensione d'uscita (nella maggior parte dei casi) di 12 o 24 volt in corrente continua. Per fornire energia a dispositivi che funzionano a corrente alternata si utilizza un Inverter che trasforma la corrente continua fornita dal generatore fotovoltaico in corrente alternata. Uno degli aspetti più importanti da tenere in considerazione per il dimensionamento dell'impianto stand alone è la capacità di erogazione di energia elettrica durnate il giorno rapportata al fabbisogno.

Ci sono tre passi fondamentali per dimensionare un sistema fotovoltaico stand-alone.

Alcuni preliminari: in genere, si dovrebbero utilizzare solo dispositivi ad alto risparmio energetico che non incidano molto sul consumo dell'energia prodotta dal sistema stand-alone. Inoltre, utilizzando dispositivi che funzionano a 12 o 24 V CC molte perdite di conversione possono essere evitate.

Per prma cosa occorre calcolare la stima del consumo giornaliero di energia: per ogni dispositivo moltiplicare la potenza di ingresso (misurata in Watt) per le ore di utilizzo. Si sommino i risultati aggiungendo un piccolo spread (a seconda dell'incertezza di previsione). Dato che il consumo è diverso a seconda della stagione, si dovrebbe calcolare indipendentemente per l'estate e l'inverno.

In secondo luogo occorre determinare la dimensione (produzione di energia) del sistema fotovoltaico: la media giornaliera di energia resa dal sistema fotovoltaico dovrebbe essere sufficiente a coprire il consumo giornaliero (calcolato per le diverse stagioni, dato che tra l'estate e l'inverno c'è molta differenza di produzione).

Per prevedere il rendimento giornaliero di energia abbiamo bisogno di dati sull'irraggiamento.

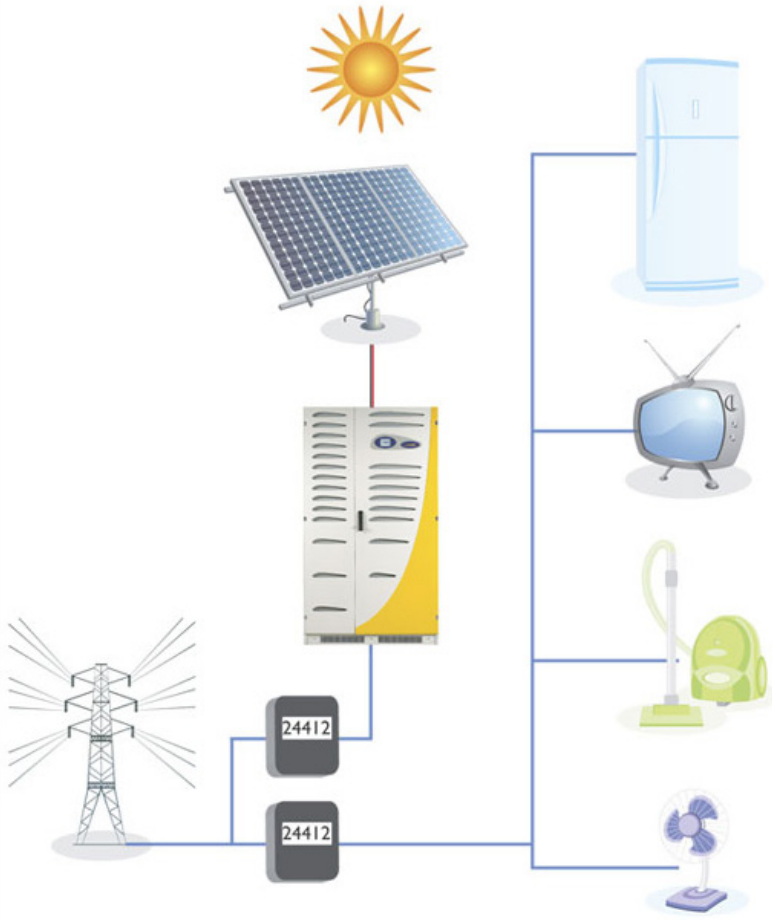


fig. 5.275 - *Schema semplificato di un impianto fotovoltaico e dei suoi collegamenti*

In unltima analisi bisogna fare un dimensionamento della capacità di immagazzinamento: poiché il sistema fotovoltaico genera l'elettricità durante il giorno, si usano batterie ricaricabili per immagazzinare l'energia elettrica prodotta. La capacità di queste batterie è misurata in ampere-ora (Ah).

5.7.2 SISTEMI GRID-CONNECTED

Gli impianti fotovoltaici grid-connected hanno la particolarità di lavorare in regime di interscambio con la rete elettrica locale. In pratica, nelle ore di luce l'utenza consuma l'energia elettrica prodotta dal proprio impianto solare, mentre quando la luce non c'è o non è sufficiente, oppure se l'utenza richiede più energia di quella che l'impianto è in grado di fornire, sarà la rete elettrica che garantirà l'approvvigionamento dell'energia elettrica necessaria. Dall'altro lato, nel caso in cui l'impianto produca più energia di quella richiesta dall'utenza, tale energia potrà essere immessa in rete. In questo caso si parla di cessione delle "eccedenze" alla rete elettrica locale. Tra gli esempi più comuni vi sono impianti solari installati su tetti di abitazioni, capannoni industriali o aziende agricole, già collegate alla rete elettrica.Sistemi a utilizzo diretto.

Gli impianti solari connessi alla rete elettrica rappresentano quindi una fonte integrativa, perché forniscono un contributo, di entità diversa a seconda della dimensione dell'impianto, al bilancio elettrico globale dell'edificio. L'inserimento dei moduli fotovoltaici nei tetti e nelle facciate risponde alla natura distribuita della fonte solare e presenta diversi vantaggi:

- l'energia prodotta in prossimità dell'utilizzazione ha un valore maggiore di quello dell'energia fornita dalle centrali tradizionali, in quanto vengono evitate le perdite di trasporto;
- la produzione di energia elettrica nelle ore di insolazione permette di ridurne la domanda alla rete durante il giorno, proprio quando si verifica la maggiore richiesta. L'obiettivo, sebbene ambizioso e certamente di lungo periodo, è "livellare" i picchi giornalieri delle curve di domanda, ai quali solitamente corrispondono le produzioni energetiche più costose. E' quindi un'alternativa interessante, in particolare alla luce della crescente diffusione dei sistemi di condizionamento negli edifici residenziali e commerciali;
- il costo dell'installazione del fotovoltaico rappresenta un costo evitato che va a diminuire il costo globale dell'edificio, se si considera che a volte i moduli sono elementi costruttivi, che quindi vanno a sostituire tegole o vetri delle facciate;
- l'adozione di questi sistemi permette la diffusione tra gli utenti di una maggiore "coscienza energetica", con positivi risvolti nell'ambito di una crescente razionalità ed efficacia d'uso dell'energia elettrica.

5.7.3 SISTEMI A UTILIZZO DIRETTO

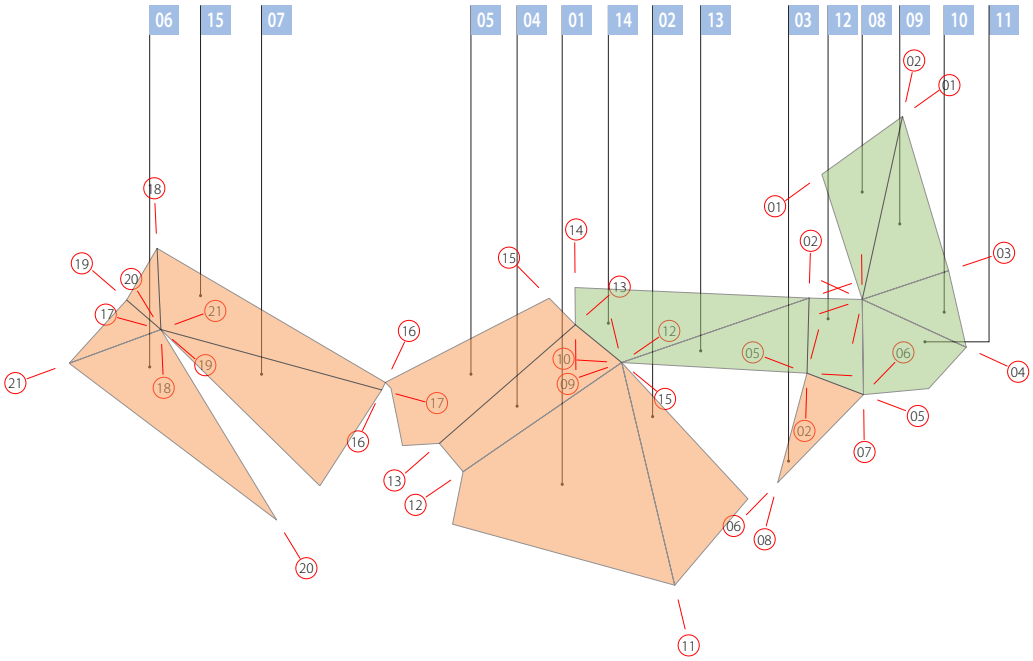
Nel caso di impianti a utilizzo diretto, in cui il generatore fotovoltaico alimenta direttamente il carico, il dimensionamento può avvenire o in funzione della potenza che è possibile installare o in funzione dell'energia che si desidera ottenere, accettando ovviamente le limitazioni del caso, e cioè la stretta dipendenza dalle condizioni climatiche del sito oggetto dell'installazione. Per la stima del'energia producibile e quindi utilizzabile da un carico in continua, in un impianto privo di inverter, si può porre:

$$E_{PV}=K_{PV} \cdot P_{PV} \cdot H$$

dove l'influenza di η_{BOS} si può trascurare.

É consigliabile, per questo tipo di applicazioni, fare delle stime circa l'andamento della generazione fotovoltaica nel corso dei periodi di impiego delle apparecchiature servite, in modo da verificare la correttezza dell'ipotesi progettuale.

fig. 5.276 - *Analisi delle superfici fotovoltaiche*



NAVIGATORE APERTO

Elenco nomi superfici

Assi principali di riferimento per la costruzione

Tecnologia impiegata:

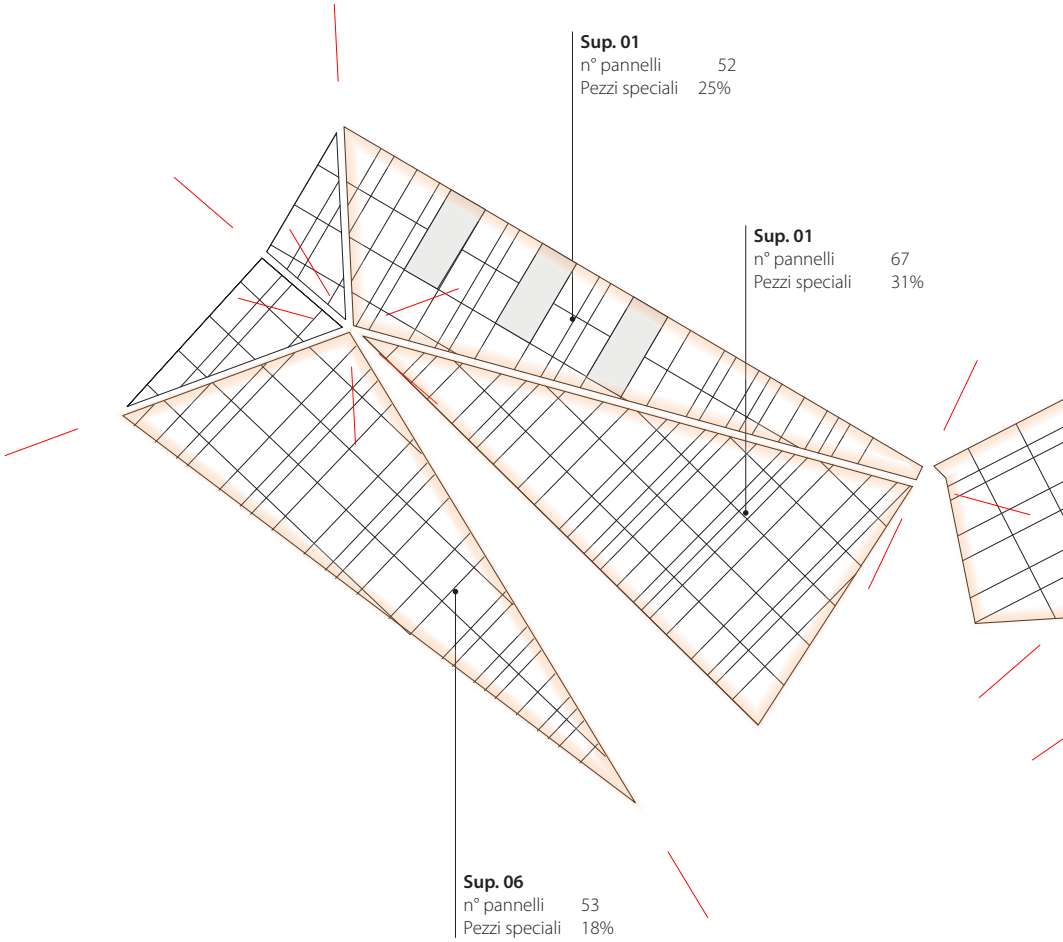
pannelli con deposito di film sottile in silicio amorfo

η = 6,25 %

pannelli con celle di silicio policristallino

celle rivestite con film di silicio amorfo

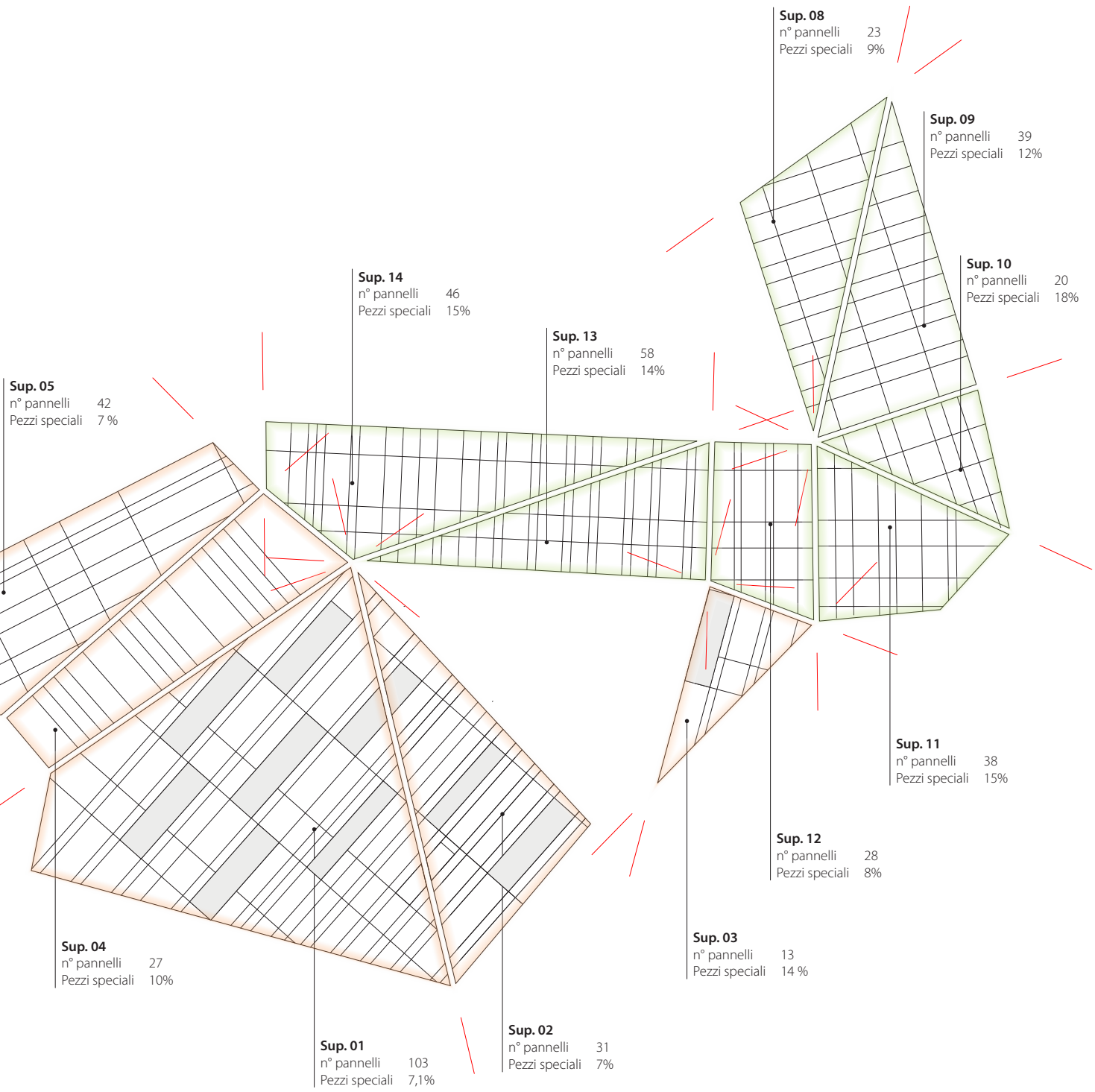
η = 18,2 %



Sup. 01
n° pannelli 52
Pezzi speciali 25%

Sup. 01
n° pannelli 67
Pezzi speciali 31%

Sup. 06
n° pannelli 53
Pezzi speciali 18%



COPERTURA
discretizzazione del rivestimento

Geometria solare

Le prestazioni di un generatore fotovoltaico dipendono dalle condizioni di insolazione locali quindi per la progettazione di un impianto fotovoltaico è necessario conoscere alcuni parametri che definiscono i percorsi che il Sole descrive nei diversi periodi dell'anno al fine di determinare la potenza di energia solare incidente su una superficie inclinata con un certo angolo, con un certo orientamento e in un determinato sito.

- L'atitudine del sito Φ: è l'angolo formato dalla retta congiungente il sito con il centro della terra e dal piano equatoriale.
- Azimut solare α: è l'angolo formato dalla proiezione sul piano orizzontale della congiungente sole-terra nel sito di riferimento con il semiasse sud:
  - α= 0 quando le due rette coincidono;
  - α> 0 quando il sole è verso est;
  - α< 0 quando il sole è verso ovest.
- Altezza solare β: l'angolo di altezza solare o elevazione solare β è l'angolo formato dalla congiungente sole-terra nel sito di riferimento con il piano orizzontale. L'altezza solare a mezzogiorno al solstizio d'estate βmax= (90° –Φ) + 23,45°; l'altezza solare al solstizio d'inverno βmin= (90° –Φ) –23,45°;
- Azimut superficiale del piano γ: è l'angolo formato dalla proiezione sul piano orizzontale della normale alla superficie in oggetto con il semiasse sud.
- Inclinazione della superficie in oggetto Ψ: èl'angolo formato dalla superficie in oggetto con il piano orizzontale del luogo in cui ci si trova.

5.8 PROGETTO

5.8.1 DISCRETIZZAZIONE

Una volta definita la geometria dello shell fotovoltaico si è resa necessaria una sua trasposizione in elementi finiti possibilmente standard.

In accordo con le esigenze architettoniche, i moduli scelti in commercio per la pannellatura hanno una larrghezza di 300/600/900 mm e un'altezza variabile di 600/1200/2400 mm.

Per ovviare al problema delle ombre portate, che ridurrebbe drasticamente il rendimento finale di ogni modulo fotovoltaico, la pannellatura dello shell è stata posizionata a filo esterno della struttura a differenza di quella sottostante in alluminio collocata internamente ad essa.

Oltre al cambio di posizione anche il cambio di materiale renderà netto lo stacco tra le due diverse parti del rivestimento aventi differenti funzioni.

Il sistema fotovoltaico adottato sarà posto tra due lastre di vetro e incollate ad una sotto-struttura in acciaio agganciata alla struttura principale.

La trasparenza verrà filtrata da un sottile film di silicio amorfo consentendo comunque la vista verso il contesto ma schermando contemporaneamente gli sguardi indiscreti.

Tutte le porzioni di superficie sono orientate e inclinate in maniera diffferente e riceveranno quindi i raggi solari con angolazioni sempre diverse tra loro durante la giornata.

Ogni parte è stata progettata per ospitare il maggior numero di pannelli e ridurre al minimo gli scarti di produzione.

Data la complessità della geometria e per problemi di dimensioni troppo ridotti alcune porzioni (minime) del rivestimento non possono ospitare questa tecnologia e saranno sostituite da "finti" pannelli.

In concomitanza coi vani ospitanti i serramenti, la superficie fotovoltaica si interrompe per consentire la libera circolazione dell'aria.

Le imbotti carterizzate evitano problemi di surriscaldamento alle finestre nella stagione estiva e contribuiscono a s chermare la radiazione solare sulle finestre durante la mattina e il pomeriggio.

L'impianto si configura come un sistema grid-connected e, data l'estensione della copertura fotovoltaica di circa 600 m^2, si pone come obiettivo quello di coprire interamente i fabbisogni elettrici sia delle residenze che della parte pubblica.

L'obiettivo verrà poi convalidato dalla simulazione di certificazione CENDED Plus della regione Lombardia.

Di seguito riportiamo una tavola di dettaglio per individuare le superfici e la pannellatura progettata.

5.8.2 ANALISI PRELIMINARI

Per impostare correttamente il lavoro di analisi, abbiamo suddiviso ed analizzato tutte le superfici maggiormente irraggiate e successivamente testato diverse tipologie in commercio e non di pannelli fotovoltaici.

I calcoli sono stati effetturati con i software proposti dalle diverse aziende e successivamente verificati con il *JOINT RESEARCH CENTRE - The European Commission's in-house science service*.

I risultati ottenuti dimostrano una piccola differenza tra i picchi di massimo e minimo irraggiamento. Nello specifico, ritenendo più corretti quelli della JRC e utilizzandoli come riferimento, si è notato come i software delle aziende restituiscano valori lievemente più bassi di inverno e di poco superiori in estate.

Una volta appurata l'effettiva correttezza dei dati ottenuti, abbiamo proceduto con i calcoli specifici per ogni porzione di shell destinata al fotovotlaico.

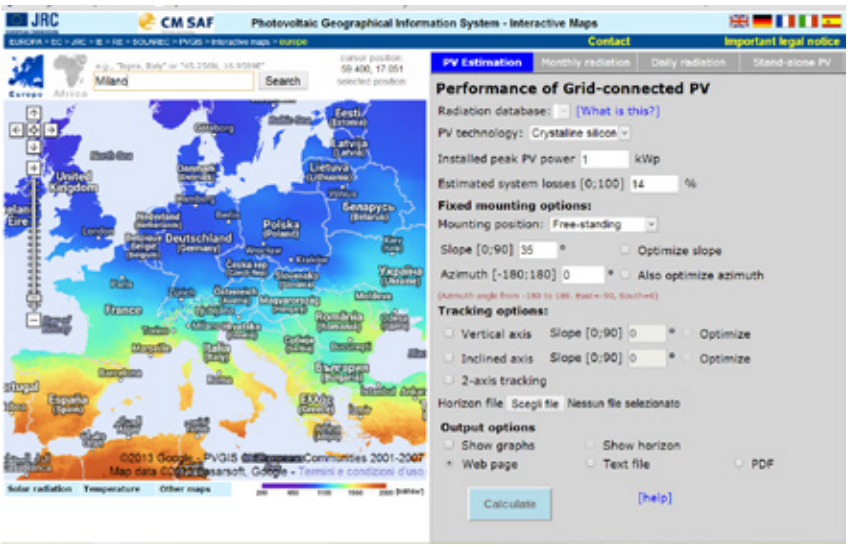


fig. 5.277 - *Programma della JCR per il calcolo e il pre-dimensionamento dell'impianto fotovoltaico*

I parametri fondamentali da ottenere sono i seguenti:

- latitudine;
- longitudine;
- potenza nominale dell'impianto: $P_{N,TOT}$ [kW_P]
- inclinazione dei moduli;
- azimuth dei moduli;
- media giornaliera dell'elettricità prodotta dal sistema: E_D [kWh];
- media mensile dell'elettricità prodotta dal sistema: E_M [kWh];
- somma media giornaliera di irradiazione globale ricevuta per metro quadrato: H_D [kWh/m^2];
- somma media mensile di irradiazione globale ricevuta per metro quadrato: H_M [kWh/m^2].

tab. 5.29 - *Dati generali per ogni superficie analizzata*

Superficie	Area		Geometria Solare	
			Inclinazione	Orientazione
	[cm²]	[m²]	[°]	[°]
1	1.189.318	118,93	11,15	24,39
2	464.660	46,47	17,81	24,39
3	151.682	15,17	16,85	24,39
4	394.964	39,50	17,04	47,54
5	518.918	51,89	10,00	99,00
6	476.378	47,64	32,18	25,82
7	555.132	55,51	15,62	25,82
8	276.671	27,67	14,71	0,00
8	326.484	32,65	8,02	100,00
10	158.789	15,88	51,91	101,75
11	273.594	27,36	37,58	9,88
12	208.076	20,81	0,00	0,00
13	*310.339*	*31,03*	*6,73*	*12,09*
14	*418.304*	*41,83*	*17,20*	*102,12*
15	*442.116*	*44,21*	*18,76*	*25,82*

tab. 5.30 - *Dati e valori di irradiazione calcolati sulle superfici fotovoltaiche*

Superficie	**1**	
Latitudine	45°27'55"	North
Longitudine	9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV	1	kWp
Inclinazione dei moduli	11	°
Azimuth dei moduli	24	°

Mese	E_D	E_M	H_D	H_M
	[kWh]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh/m²]
Gen	1,29	40	1,63	50,7
Feb	2,25	62,9	2,87	80,3
Mar	3,18	98,7	4,22	131
Apr	3,84	115	5,24	157
Mag	4,44	138	6,25	194
Giu	4,76	143	6,83	205
Lug	4,96	154	7,19	223
Ago	4,2	130	6,08	188
Set	3,42	103	4,78	143
Ott	2,17	67,3	2,92	90,4
Nov	1,34	40,1	1,74	52,1
Dic	1,2	37,1	1,53	47,4
Anno	3,09	94	4,28	130

Superficie	**2**	
Latitudine	45°27'55"	North
Longitudine	9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV	1	kWp
Inclinazione dei moduli	18	°
Azimuth dei moduli	24	°

Mese	E_D	E_M	H_D	H_M
	[kWh]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh/m²]
Gen	1,44	44,7	1,81	56,1
Feb	2,45	68,6	3,12	87,5

Superficie			**2**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			18	°
Azimuth dei moduli			24	°
Mar	3,34	104	4,45	138
Apr	3,91	117	5,37	161
Mag	4,45	138	6,28	195
Giu	4,73	142	6,81	204
Lug	4,94	153	7,2	223
Ago	4,25	132	6,19	192
Set	3,55	107	4,99	150
Ott	2,31	71,7	3,12	96,6
Nov	1,47	44,2	1,91	57,2
Dic	1,35	41,8	1,7	52,7
Anno	3,19	96,9	4,42	134

Superficie			**3**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			17	°
Azimuth dei moduli			24	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,42	44,1	1,79	55,4
Feb	2,42	67,8	3,09	86,5
Mar	3,32	103	4,42	137
Apr	3,9	117	5,36	161
Mag	4,45	138	6,28	195
Giu	4,73	142	6,81	204
Lug	4,95	153	7,2	223
Ago	4,25	132	6,17	191
Set	3,54	106	4,97	149
Ott	2,29	71,1	3,09	95,8
Nov	1,46	43,7	1,88	56,5
Dic	1,33	41,1	1,68	52
Anno	3,17	96,6	4,4	134

Superficie			**4**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			17	°
Azimuth dei moduli			47	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,31	40,5	1,66	51,4
Feb	2,27	63,5	2,9	81,1
Mar	3,18	98,7	4,24	131
Apr	3,81	114	5,22	157

Superficie			**4**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			17	°
Azimuth dei moduli			47	°
Mag	4,4	136	6,2	192
Giu	4,7	141	6,76	203
Lug	4,9	152	7,12	221
Ago	4,17	129	6,05	188
Set	3,41	102	4,78	144
Ott	2,18	67,5	2,93	91
Nov	1,35	40,5	1,76	52,7
Dic	1,21	37,6	1,55	48,1
Anno	3,08	93,6	4,27	130

Superficie			**5**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			10	°
Azimuth dei moduli			99	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	0,93	28,9	1,25	38,6
Feb	1,75	49	2,28	63,8
Mar	2,75	85,1	3,63	113
Apr	3,56	107	4,81	144
Mag	4,28	133	5,97	185
Giu	4,66	140	6,63	199
Lug	4,81	149	6,91	214
Ago	3,95	123	5,66	175
Set	3,04	91,1	4,21	126
Ott	1,8	55,9	2,44	75,7
Nov	1	30,1	1,36	40,7
Dic	0,84	26,2	1,15	35,8
Anno	2,79	84,8	3,87	118

Superficie			**6**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			32	°
Azimuth dei moduli			25	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,69	52,2	2,12	65,6
Feb	2,77	77,5	3,55	99,5
Mar	3,55	110	4,79	149
Apr	3,95	118	5,47	164

Superficie			**6**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			32	°
Azimuth dei moduli			25	°
Mag	4,34	135	6,16	191
Giu	4,55	136	6,57	197
Lug	4,79	148	7	217
Ago	4,25	132	6,22	193
Set	3,7	111	5,26	158
Ott	2,52	78,1	3,43	106
Nov	1,69	50,8	2,2	65,9
Dic	1,59	49,3	2	62,2
Anno	3,28	99,9	4,57	139

Superficie			**7**	
Latitudine			45°27'55"	North
Longitudine			9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV			1	kWp
Inclinazione dei moduli			16	°
Azimuth dei moduli			25	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,39	43,1	1,75	54,3
Feb	2,38	66,7	3,04	85,1
Mar	3,29	102	4,38	136
Apr	3,89	117	5,33	160
Mag	4,45	138	6,28	195
Giu	4,74	142	6,82	205
Lug	4,95	153	7,2	223
Ago	4,24	131	6,15	191
Set	3,51	105	4,92	148
Ott	2,27	70,2	3,05	94,5
Nov	1,43	42,9	1,85	55,5
Dic	1,3	40,2	1,64	50,9
Anno	3,16	96	4,37	133

Superficie		**8**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		15	°
Azimuth dei moduli		0	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,42	43,9	1,78	55,1
Feb	2,42	67,7	3,08	86,1
Mar	3,32	103	4,42	137
Apr	3,91	117	5,36	161
Mag	4,47	138	6,3	195
Giu	4,75	143	6,84	205
Lug	4,97	154	7,23	224
Ago	4,26	132	6,18	192
Set	3,54	106	4,96	149
Ott	2,29	71,1	3,08	95,5
Nov	1,45	43,5	1,87	56,2
Dic	1,32	41	1,67	51,7
Anno	3,18	96,8	4,4	134

Superficie		**9**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		8	°
Azimuth dei moduli		100	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	0,94	29,1	1,25	38,9
Feb	1,76	49,3	2,29	64,2
Mar	2,76	85,6	3,65	113
Apr	3,57	107	4,83	145
Mag	4,3	133	6	186
Giu	4,68	140	6,66	200
Lug	4,83	150	6,94	215
Ago	3,97	123	5,68	176
Set	3,05	91,6	4,23	127
Ott	1,82	56,3	2,46	76,1
Nov	1,01	30,3	1,36	40,9
Dic	0,85	26,4	1,16	36
Anno	2,8	85,2	3,89	118

Superficie		**10**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		51	°
Azimuth dei moduli		101	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	0,72	22,5	0,98	30,5
Feb	1,38	38,5	1,81	50,7
Mar	2,19	67,9	2,94	91,2
Apr	2,86	85,7	3,91	117
Mag	3,44	107	4,83	150
Giu	3,74	112	5,34	160
Lug	3,84	119	5,55	172
Ago	3,17	98,2	4,59	142
Set	2,42	72,7	3,41	102
Ott	1,43	44,3	1,97	60,9
Nov	0,79	23,5	1,08	32,4
Dic	0,66	20,3	0,92	28,4
Anno	2,22	67,6	3,12	94,9

Superficie		**11**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		38	°
Azimuth dei moduli		9	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,84	57	2,31	71,6
Feb	2,97	83,2	3,82	107
Mar	3,7	115	5	155
Apr	3,98	119	5,52	166
Mag	4,28	133	6,08	188
Giu	4,44	133	6,4	192
Lug	4,69	145	6,86	213
Ago	4,24	131	6,21	193
Set	3,81	114	5,43	163
Ott	2,66	82,4	3,62	112
Nov	1,83	54,9	2,38	71,4
Dic	1,74	54	2,2	68,1
Anno	3,35	102	4,66	142

Superficie		**12**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		0	°
Azimuth dei moduli		0	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	0,99	30,7	1,31	40,6
Feb	1,84	51,4	2,38	66,5
Mar	2,84	88	3,74	116
Apr	3,64	109	4,92	148
Mag	4,36	135	6,07	188
Giu	4,73	142	6,73	202
Lug	4,9	152	7,03	218
Ago	4,04	125	5,77	179
Set	3,13	93,8	4,33	130
Ott	1,87	58,1	2,53	78,3
Nov	1,06	31,8	1,42	42,6
Dic	0,9	27,9	1,21	37,6
Anno	2,86	87,1	3,96	121

Superficie		**13**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		7	°
Azimuth dei moduli		12	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,19	37	1,52	47,3
Feb	2,11	59,2	2,7	75,7
Mar	3,08	95,4	4,07	126
Apr	3,78	113	5,14	154
Mag	4,43	137	6,21	192
Giu	4,76	143	6,82	204
Lug	4,95	154	7,16	222
Ago	4,16	129	5,99	186
Set	3,33	100	4,64	139
Ott	2,08	64,4	2,79	86,5
Nov	1,25	37,4	1,63	48,9
Dic	1,1	34,1	1,42	44,1
Anno	3,02	92	4,18	127

Superficie		**14**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		17	°
Azimuth dei moduli		102	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	0,88	27,1	1,18	36,6
Feb	1,65	46,3	2,16	60,6
Mar	2,63	81,6	3,49	108
Apr	3,44	103	4,67	140
Mag	4,17	129	5,82	180
Giu	4,54	136	6,48	194
Lug	4,68	145	6,74	209
Ago	3,83	119	5,5	170
Set	2,92	87,7	4,07	122
Ott	1,72	53,4	2,34	72,6
Nov	0,95	28,4	1,29	38,7
Dic	0,79	24,5	1,09	33,9
Anno	2,69	81,8	3,74	114

Superficie		**15**	
Latitudine		45°27'55"	North
Longitudine		9°11'11"	East
Potenza nominale dell'impianto PV		1	kWp
Inclinazione dei moduli		19	°
Azimuth dei moduli		25	°

Mese	**E_D [kWh]**	**E_M [kWh]**	**H_D [kWh/m²]**	**H_M [kWh/m²]**
Gen	1,46	45,2	1,83	56,7
Feb	2,47	69,2	3,15	88,3
Mar	3,36	104	4,48	139
Apr	3,91	117	5,38	161
Mag	4,44	138	6,28	195
Giu	4,72	141	6,8	204
Lug	4,94	153	7,19	223
Ago	4,26	132	6,19	192
Set	3,56	107	5,01	150
Ott	2,33	72,1	3,14	97,2
Nov	1,49	44,7	1,92	57,7
Dic	1,36	42,2	1,72	53,3
Anno	3,19	97,2	4,43	135

5.9 ANALISI COMPARATIVA

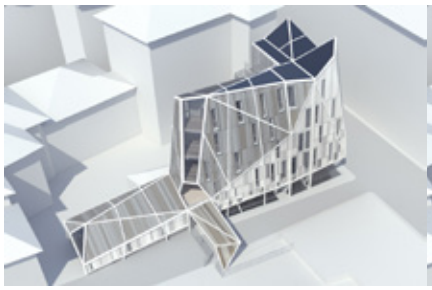
Per avere una panoramica più ampia al fine di ottimizzare la scelta finale, abbiamo testato quattro diverse configurazioni di pannelli e tecnologie fotovoltaiche. Abbiamo così considerato tecnologie amorfe e monocristalline con diverse prestazioni, sia in commercio da tempo che di imminente produzione.

Abbiamo preferito tralasciare gli ultimi ritrovati di laboratorio con prestazioni eccellenti o addirittura record perché testati solo su celle di ridottissima dimensione: 1 cm^2. Le tecnologie più spinte considerate nei calcoli sono già in commercio o si apprestano ad esserlo. Infatti, di queste, sono già reperibili le schede tecniche di prodotto che le aziende hanno in programma di immettere sul mercato.

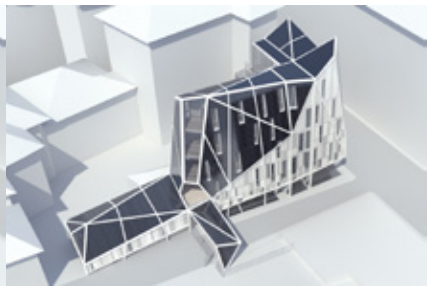
Gli scenari analizzati sono stati:

- silicio amorfo in facciata e monocristallino in copertura (prodotti comuni reperibili facilmente in commercio);
- silicio amorfo monocristallino su tutte le superfici (prodotti comuni reperibili facilmente in commercio);
- silicio amorfo thin film high efficiency in facciata e silicio monocristallino rivestito con film di amorfo in copertura (valori top in laboratorio e in procinto di essere commercializzati);
- silicio amorfo thin film high efficiency su tutte le superfici (valori top in laboratorio e in procinto di essere commercializzati);

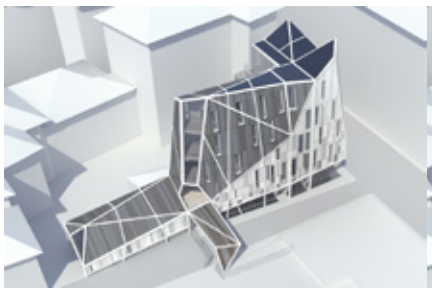
Vediamo di seguito i valori ottenuti dalle analisi e commentiamo i risultati.



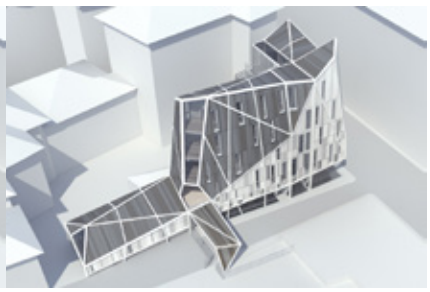
scenario 1. Film sottile amorfo e monocristallino



scenario 2. Film sottile amorfo e monocristallino



scenario 1. Monocristallino rivestito con film di amorfo



scenario 1. Amorfo thin film high efficiency

5.9.1 FILM SOTTILE AMORFO E MONOCRISTALLINO

Valori standard di produzione

Il primo scenario di analisi prevede due tipologie di fotovoltaico installate: la porzione di tetto meglio irraggiata rivestita con celle in monocristallino mentre le porzioni più verticali (sempre sotto i 20°) con tecnologia amorfa. I prodotti scelti presentano dati di produzione ed efficienza standard quindi facilmente reperibili sul mercato.

Nello specifico i prodotti sono quelli offerti dalla ditta spagnola *Onyx Solar*.

tab. 5.31 - *Dati dei moduli scelti per ogni superficie*

Prod	Sup	Singolo Modulo				Tot	Scarto	Tot.	P_N		$P_{N,TOT}$	η
		tipo	l	h	A	mod		mod				
			[m]	[m]	[m²]		[%]	eff	[W_p]	[kW_p]		in STC
ONYX SOLAR	1	Amorfo	1,20	0,60	0,72	165	7,10	153	45	0,05	6,9	6,25
	2		1,20	0,60	0,72	65	3,00	63	45	0,05	2,8	6,25
	3		1,20	0,60	0,72	21	9,00	19	45	0,05	0,9	6,25
	4		1,20	0,60	0,72	55	10,00	49	45	0,05	2,2	6,25
	5		1,20	0,60	0,72	72	8,00	66	45	0,05	3,0	6,25
	6		1,20	0,60	0,72	66	5,00	63	45	0,05	2,8	6,25
	7		1,20	0,60	0,72	77	10,00	69	45	0,05	3,1	6,25
	8	Monoc. cristallino	1,20	0,60	0,72	38	3,00	37	110	0,11	4,1	15,28
	9		1,20	0,60	0,72	45	3,00	44	110	0,11	4,8	15,28
	10		1,20	0,60	0,72	22	5,00	21	110	0,11	2,3	15,28
	11		1,20	0,60	0,72	38	4,00	36	110	0,11	4,0	15,28
	12		1,20	0,60	0,72	29	0,00	29	110	0,11	3,2	15,28
	13		1,20	0,60	0,72	43	7,00	40	110	0,11	4,4	15,28
	14		1,20	0,60	0,72	58	7,00	54	110	0,11	5,9	15,28
	15	Amorfo	1,20	0,60	0,72	61	10,00	55	45	0,05	2,5	6,25

tab. 5.32 - *Film sottile amorfo e monocristallino: irradiazione*

Prodotto	Sup	Modulo	Media annua				Totale annuo	
		tipo	E_D	E_M	H_D	H_M	E_M	H_M
			[KWh]	[KWh]	[KWh/m²]	[KWh/m²]	[KWh]	[KWh/m²]
ONYX SOLAR	1	Amorfo	20,59	627,25	4,27	130,11	7.527	1.561
	2		7,08	215,60	3,90	134,00	134	2.587
	3		3,52	107,23	4,28	133,28	1.287	1.599
	4		6,85	208,75	4,26	129,92	2.505	1.559
	5		9,24	281,66	3,86	117,62	3.380	1.411
	6		7,46	227,00	4,62	140,67	2.724	1.688
	7		12,66	285,50	5,30	161,41	4.626	1.937
	8	Mono cristallino	14,11	429,83	4,38	133,47	5.158	1.602
	9		12,39	377,58	3,88	118,16	4.531	1.418
	10		4,88	148,73	3,09	94,16	1.785	1.130
	11		14,93	454,33	4,63	140,82	5.452	1.689
	12		9,49	289,16	3,95	120,51	3.470	1.446
	13		13,33	406,17	4,15	126,52	4.874	1.518
	14		14,88	453,67	3,74	113,97	5.444	1.367
	15	Amorfo	7,08	215,76	4,40	134,09	2.589	1.609

tab. 5.33 - *Film sottile amorfo e monocristallino: guadagni solari*

Prodotto	Sup.	Modulo tipo	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
			[KWh]	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
ONYX SOLAR	1	Amorfo	7.521	376.050	5.039	55.711
	2		2.585	129.225	1.732	19.144
	3		1.287	64.340	862	9.532
	4		2.501	125.060	1.676	18.527
	5		3.380	168.995	2.265	25.036
	6		2.724	136.200	1.825	20.178
	7		4.626	231.300	3.099	34.267
	8	Mono cristallino	5.158	257.900	3.456	38.207
	9		4.531	226.550	3.036	33.563
	10		1.785	89.240	1.196	13.221
	11		5.425	272.600	3.653	40.358
	12		3.470	173.495	2.325	25.703
	13		4.874	243.700	3.266	36.104
	14		5.444	272.200	3.647	40.326
	15	Amorfo	2.589	129.455	1.735	19.179

Anche l'immagine architettonica cambia a seconda delle tecnologie adottate e abbiamo quindi modificato di volta in volta il progetto.

Ecco una visione del progetto da sud-est con questo tipo di pannelli fotovoltaici: monocristallino in copertura e amorfo in facciata.

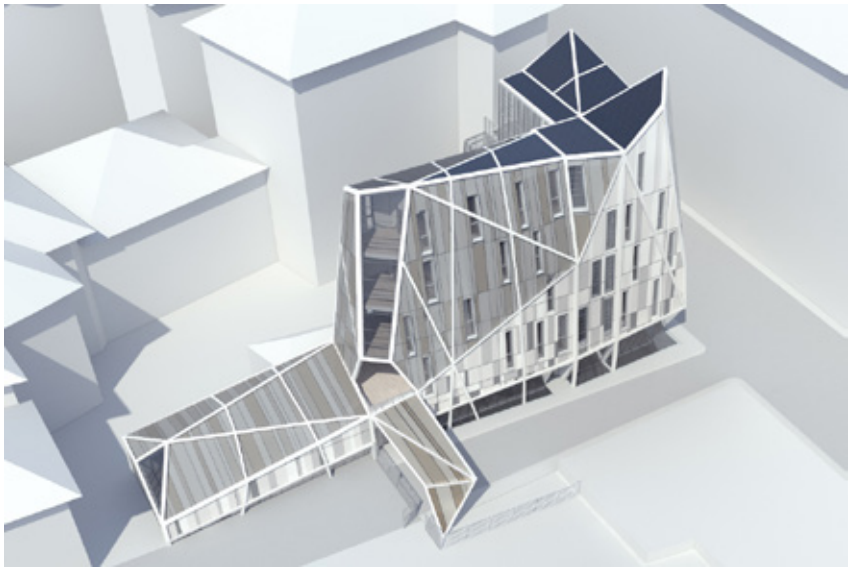


fig. 5.278 - *Scenario con amorfo in facciata e monocristallino in copertura.*

5.9.2 MONOCRISTALLINO RIVESTITO CON FILM DI AMORFO

Valori di produzione massimi in commercio

Il secondo scenario di analisi prevede invece che l'intera copertura dello shell sia rivestita con tecnologia più spinta e quindi più costosa ma comunque reperibile sul mercato. Questa è quella delle celle in silicio amorfo monocristallino rivestito con film in amorfo.

Nello specifico i prodotti sono quelli offerti dalla ditta *HIT Panasonic*.

tab. 5.34 - *Dati dei moduli scelti per ogni superficie*

Prod	Sup	Singolo Modulo				Tot	Scarto	Tot.	P_N		$P_{N,TOT}$	η
		tipo	l	h	A	mod		mod				
			[m]	[m]	[m²]		[%]	eff	[W_p]	[kW_p]		in STC
HIT Panasonic	1	*Monoc. rivestito con film amorfo*	1,20	0,60	0,72	165	7,10	153	130	0,13	19,9	18,1
	2		1,20	0,60	0,72	65	3,00	63	130	0,13	8,1	18,1
	3		1,20	0,60	0,72	21	9,00	19	130	0,13	2,5	18,1
	4		1,20	0,60	0,72	55	10,00	49	130	0,13	6,4	18,1
	5		1,20	0,60	0,72	72	8,00	66	130	0,13	8,6	18,1
	6		1,20	0,60	0,72	66	5,00	63	130	0,13	8,2	18,1
	7		1,20	0,60	0,72	77	10,00	69	130	0,13	9,0	18,1
	8		1,20	0,60	0,72	38	3,00	37	130	0,13	4,8	18,1
	9		1,20	0,60	0,72	45	3,00	44	130	0,13	5,7	18,1
	10		1,20	0,60	0,72	22	5,00	21	130	0,13	2,7	18,1
	11		1,20	0,60	0,72	38	4,00	36	130	0,13	4,7	18,1
	12		1,20	0,60	0,72	29	0,00	29	130	0,13	3,8	18,1
	13		1,20	0,60	0,72	43	7,00	40	130	0,13	5,2	18,1
	14		1,20	0,60	0,72	58	7,00	54	130	0,13	7,0	18,1
	15		1,20	0,60	0,72	61	10,00	55	130	0,13	7,2	18,1

tab. 5.35 - *Monocristallino rivestito con film di amorfo: irradiazione*

Prodotto	Sup.	Modulo	Media annua				Totale annuo	
		tipo	E_D	E_M	H_D	H_M	E_M	H_M
			[KWh]	[KWh]	[KWh/m²]	[KWh/m²]	[KWh]	[KWh/m²]
HIT PANASONIC	1	Mono cristallino rivestito con film di amorfo	66,55	2027	4,35	132,63	24324	1591
	2		28,29	861,42	4,39	133,84	10337	1606
	3		7,04	214,43	4,38	133,28	2573	1599
	4		20,56	626,17	4,26	129,92	7514	1559
	5		9,24	281,66	3,86	117,62	3380	1411
	6		29,32	892,42	4,55	138,55	10709	1662
	7		31,4	956,5	4,34	132,32	11478	1587
	8		16,98	517,08	5,33	162,3	6205	1947
	9		15,48	471,83	3,88	118,16	5662	1417
	10		4,88	148,73	3,09	94,16	1785	1130
	11		15,01	156,83	4,65	141,56	5482	1698
	12		9,49	289,16	3,95	120,51	3470	1446
	13		16,66	507,48	4,15	126,52	6091	158
	14		20,77	633,08	3,73	113,64	7597	1363
	15		24,80	755,25	4,40	134,09	9063	1609

tab. 5.36 - *Monocristallino rivestito con film di amorfo: guadagni solari*

Prodotto	Sup.	Modulo tipo	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
			[KWh]	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
HIT PANASONIC	1	Mono cristallino rivestito con film di amorfo	24324	1216200	16297	180178
	2		10337	516850	6926	76570
	3		2573	128655	1724	19060
	4		7514	375700	5034	55659
	5		3380	168995	2265	25036
	6		10709	535,49	7175	79326
	7		11478	573900	7690	85022
	8		6205	310250	4157	45963
	9		5662	283100	3794	41941
	10		1785	89240	1196	13221
	11		5482	274100	3673	40607
	12		3.470	173.495	2.325	25.703
	13		6.091	304.550	4.081	45.119
	14		7.595	379.850	5.090	56.274
	15		9.063	453.150	6.072	67.133

Anche l'immagine architettonica cambia a seconda delle tecnologie adottate e abbiamo quindi modificato di volta in volta il progetto.

Ecco una visione del progetto da sud-est con questo tipo di pannelli fotovoltaici: monocristallino rivestito con film sottile di amorfo ovunque.

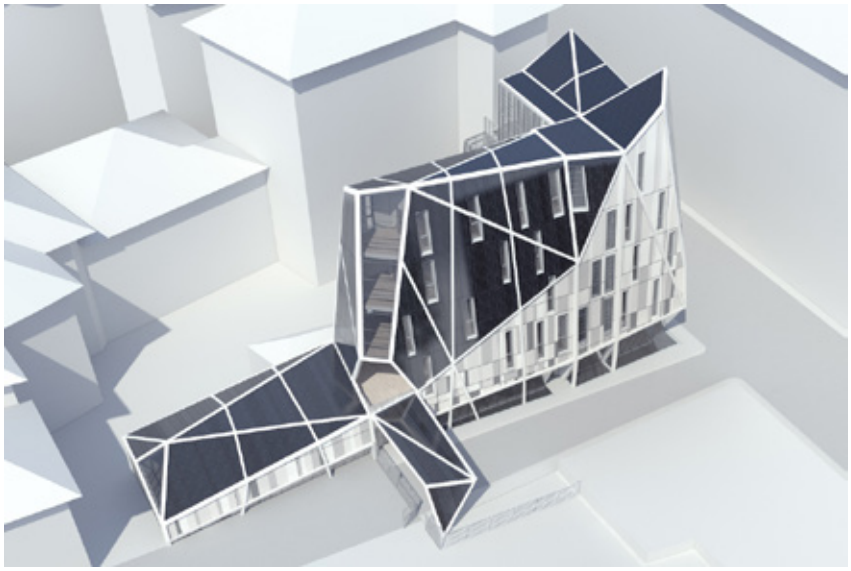


fig. 5.279 - *Scenario con monocristallino su tette le superfici*

5.9.3 AMORFO THIN FILM HIGH EFFICIENCY E MONOCRISTALLINO RIVESTITO CON FILM IN AMORFO

Valori massimi di produzione in laboratorio

Il terzo scenario di analisi prevede ancora due tipologie di fotovoltaico, ora però particolarmente efficienti, ma con prodotti già testati in laboratorio e pronti per la commercializzazione. I valori sono stati reperiti dalle aziende *Mitsubishi* e *Sun Power*.

tab. 5.37 - *Dati dei moduli scelti per ogni superficie*

Prod	Sup	Singolo Modulo				Tot	Scarto	Tot.	P_N		$P_{N,TOT}$	η
		tipo	l	h	A	mod		mod				
			[m]	[m]	[m²]		[%]	eff	[W_p]	[kW_p]		in STC
	1		1,20	0,60	0,72	165	7,10	153	45	0,05	6,9	6,25
	2		1,20	0,60	0,72	65	3,00	63	45	0,05	2,8	6,25
	3	*Amorfo thin film high efficiency*	1,20	0,60	0,72	21	9,00	19	45	0,05	0,9	6,25
MITSUBISHI	4		1,20	0,60	0,72	55	10,00	49	45	0,05	2,2	6,25
	5		1,20	0,60	0,72	72	8,00	66	45	0,05	3,0	6,25
	6		1,20	0,60	0,72	66	5,00	63	45	0,05	2,8	6,25
	7		1,20	0,60	0,72	77	10,00	69	45	0,05	3,1	6,25
	8		1,20	0,60	0,72	38	3,00	37	110	0,11	4,1	15,28
	9		1,20	0,60	0,72	45	3,00	44	110	0,11	4,8	15,28
	10	*Monoc. rivestito con film in amorfo*	1,20	0,60	0,72	22	5,00	21	110	0,11	2,3	15,28
SUN POWER	11		1,20	0,60	0,72	38	4,00	36	110	0,11	4,0	15,28
	12		1,20	0,60	0,72	29	0,00	29	110	0,11	3,2	15,28
	13		1,20	0,60	0,72	43	7,00	40	110	0,11	4,4	15,28
	14		1,20	0,60	0,72	58	7,00	54	110	0,11	5,9	15,28
MITSUBISHI	15	*Amorfo thin film high efficiency*	1,20	0,60	0,72	61	10,00	55	45	0,05	2,5	6,25

tab. 5.38 - *Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito da film di amorfo: irradiazione*

Prodotto	Sup.	Modulo	Media annua				Totale annuo	
		tipo	E_D	E_M	H_D	H_M	E_M	H_M
			[KWh]	[KWh]	[KWh/m²]	[KWh/m²]	[KWh]	[KWh/m²]
	1		54,83	1670,33	4,27	130,01	20044	1560
	2		21,21	646	4,39	133,84	7752	1606
	3	*Amorfo thin film high efficiency*	7,04	214,43	4,38	133,28	2573	1599
MITSUBISHI	4		17,13	521,83	4,26	129,92	6262	1559
	5		18,46	562,58	3,85	117,47	6751	1409
	6		21,99	669,5	4,55	138,55	8034	1662
	7		24,54	74750	4,35	132,63	8970	1591
	8		17,64	537,25	4,38	133,47	6447	1601
	9		18,57	566	3,88	118,16	6792	1417
	10	*Mono cristallino rivestito da film amorfo*	7,31	222,97	3,09	94,16	2675	1129
SUN POWER	11		18,78	571,5	4,65	141,6	6858	1699
	12		12,65	385,67	3,95	120,51	4628	1446
	13		16,66	507,58	4,15	126,52	6091	1518
	14		20,83	634,83	3,74	113,97	7618	1367
MITSUBISHI	15	*Amorfo thin film high efficiency*	17,72	539,75	4,40	134,09	6477	1609

tab. 5.39 - *Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito da film di amorfo: guadagni solari*

Prodotto	Sup.	Modulo tipo	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
			[KWh]	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
MITSUBISHI	1	*Amorfo thin film high efficiency*	20044	1002200	13429	148474
	2		7752	387600	5194	57422
	3		2573	128655	1724	19060
	4		6262	313100	4196	46385
	5		6751	337550	4523	50007
	6		8034	401700	5383	59551
	7		8970	448500	6010	66444
SUN POWER	8	*Mono cristallino rivestito da film amorfo*	6447	322350	4319	47756
	9		6792	339600	4551	50311
	10		2676	133780	1793	19819
	11		6858	342900	4595	50800
	12		4.628	231.400	3.101	34.281
	13		6.091	304.550	4.081	45.119
	14		7.618	380.900	5.104	56.430
MITSUBISHI	15	*Amorfo thin film high efficiency*	6.477	323.850	4.340	47.978

Anche l'immagine architettonica cambia a seconda delle tecnologie adottate e abbiamo quindi modificato di volta in volta il progetto.

Ecco una visione del progetto da sud-est con questo tipo di pannelli fotovoltaici: monocristallino rivestito con film sottile di amorfo in copertura e amorfo thin film high efficiency in facciata.

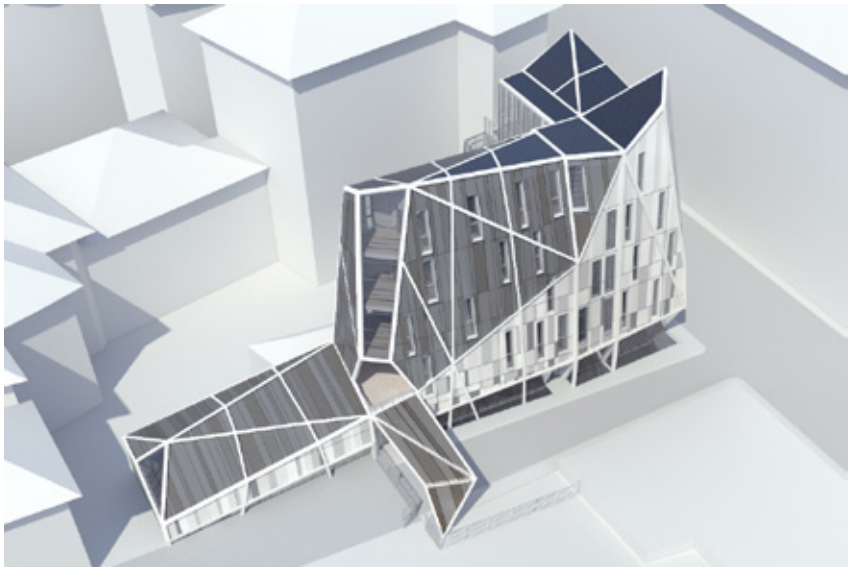


fig. 5.280 - *Scenario con Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito con film in amorfo*

5.9.4 AMORFO THIN FILM HIGH EFFICIENCY

Valori massimi di produzione in in laboratorio

Il quarto scenario di analisi prevede la copertura solamente con tecnologia amorfa thin film high efficiency per contenere i costi grazie anche alla superficie interessata decisamente ampia (circa 600 m^2).

tab. 5.40 - *Dati dei moduli scelti per ogni superficie*

Prod	Sup	Singolo Modulo				Tot	Scarto	Tot.	P_N		$P_{N,TOT}$	η
		tipo	l	h	A	mod		mod				
			[m]	[m]	[m^2]		[%]	eff	[W_p]	[kW_p]		in STC
	1		1,20	0,60	0,72	165	7,10	153	104	0,10	16,0	14,4
	2		1,20	0,60	0,72	65	3,00	63	104	0,10	6,5	14,4
	3		1,20	0,60	0,72	21	9,00	19	104	0,10	2,0	14,4
	4		1,20	0,60	0,72	55	10,00	49	104	0,10	5,1	14,4
	5		1,20	0,60	0,72	72	8,00	66	104	0,10	6,9	14,4
	6		1,20	0,60	0,72	66	5,00	63	104	0,10	6,5	14,4
	7	*Amorfo thin film high efficiency*	1,20	0,60	0,72	77	10,00	69	105	0,11	7,3	14,6
MITSUBISHI	8		1,20	0,60	0,72	38	3,00	37	106	0,11	4,0	14,7
	9		1,20	0,60	0,72	45	3,00	44	107	0,11	4,7	14,9
	10		1,20	0,60	0,72	22	5,00	21	108	0,11	2,3	15,0
	11		1,20	0,60	0,72	38	4,00	36	109	0,11	4,0	15,1
	12		1,20	0,60	0,72	29	0,00	29	110	0,11	3,2	15,3
	13		1,20	0,60	0,72	43	7,00	40	111	0,11	4,4	15,4
	14		1,20	0,60	0,72	58	7,00	54	112	0,11	6,1	15,6
	15		1,20	0,60	0,72	61	10,00	55	104	0,10	5,7	14,4

tab. 5.41 - *Amorfo thin film high efficiency: irradiazione*

Prodotto	Sup.	Modulo	Media annua				Totale annuo	
		tipo	E_D	E_M	H_D	H_M	E_M	H_M
			[KWh]	[KWh]	[KWh/m^2]	[KWh/m^2]	[KWh]	[KWh/m^2]
	1		54,83	1670,33	4,27	130,01	20044	1560
	2		21,21	646	4,39	133,84	7752	1606
	3		7,04	214,43	4,38	133,28	2573	1599
	4		17,13	521,83	4,26	129,92	6262	1559
	5		18,46	562,58	3,85	117,47	6751	1409
	6		21,99	669,5	4,55	138,55	8034	1662
	7	*Amorfo thin film high efficiency*	24,54	74750	4,35	132,63	8970	1591
MITSUBISHI	8		14,19	423,17	4,41	134,19	5186	1610
	9		12,37	376,92	3,87	118,08	4523	1416
	10		4,84	147,53	3,07	93,52	1770	1122
	11		15,01	456,83	4,65	141,48	5482	1697
	12		9,49	289,16	3,95	121	3469	1446,000
	13		13,44	409,42	4,18	127,46	49	1529
	14		17,86	544,00	3,74	113,97	6534	1367
	15		17,72	539,75	4,40	134,09	6477	1609

tab. 5.42 - *Amorfo thin film high efficiency: guadagni solari*

Prodotto	Sup.	Modulo tipo	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
			[KWh]	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
	1		20044	1002200	13429	148474
	2		7752	387600	5194	57422
	3		2573	128655	1724	19060
	4		6262	313100	4196	46385
	5		6751	337550	4523	50007
	6		8034	401700	5383	59551
	7		8970	448500	6010	66444
MITSUBISHI	8	*Amorfo thin film high efficiency*	5186	259300	3475	38415
	9		4523	226150	3030	33504
	10		1770	88520	1186	13114
	11		5482	274100	3673	40607
	12		3.470	173.459	2.325	25.703
	13		4.913	245.650	3.292	36.393
	14		6.534	326.700	4.378	48.400
	15		6.477	323.850	4.340	47.978

Anche l'immagine architettonica cambia a seconda delle tecnologie adottate e abbiamo quindi modificato di volta in volta il progetto.

Ecco una visione del progetto da sud-est con questo tipo di pannelli fotovoltaici: amorfo thin film high efficiency ovunque.

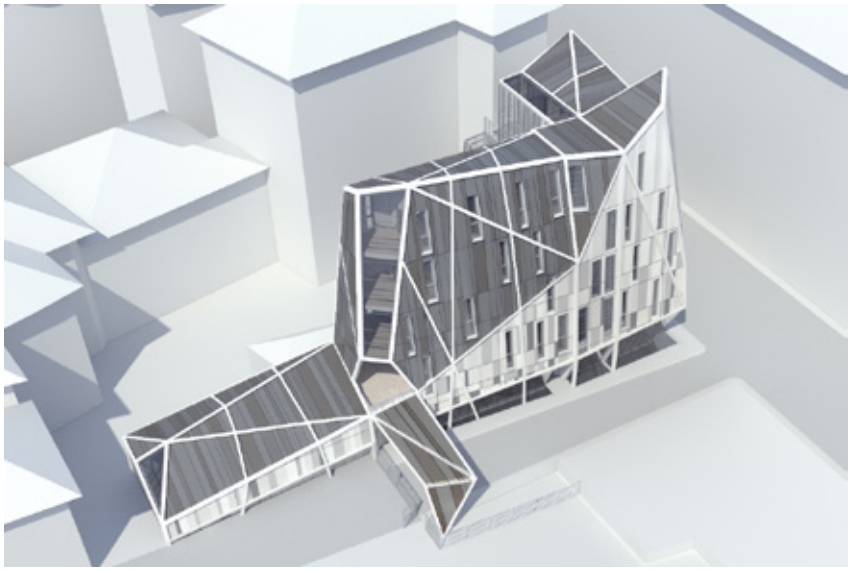


fig. 5.281 - *Scenario con amorfo di ultima generazione su tutte le superfici*

Scelta e predimensionamento

Nel primo scenario si ottengono 57.900 kWh di elettricità generata ogni anno. Inserendo questo dato nei calcoli per il fabbisogno energetico dell'edificio tramite software CENED Plus della Regione Lombardia, non riuscivamo a raggiungere una classe prestazionale adeguata agli obiettivi che ci eravamo prefissati sia per le residenze che per la mediateca.

Per perseguire tale scopo, abbiamo coperto l'intera superfice fotovoltaica con pannelli in silicio mocristallino coi quali siamo giunti a 115.668 kWh di elettricità generata ogni anno. Il risultato così ottenuto era ottimo per il fabbisogno ma pessimo per la resa architettonica dei pannelli troppo scuri per il contesto circostante.

Spingendoci oltre abbiamo considerato delle tecnologie più performanti di prossima uscita sul mercato e abbiamo riproposto la combinazione iniziale di morfo e monocristallino. Si ottengono così 107.973 kWh di elettricità generata ogni anno, risultato questo ancora ottimo per i calcoli CENED Plus.

A questo punto si sono effettuate le considerazioni seguenti:

- l'elettricità generata è anche più di quella necessaria;
- il silicio amorfo monocristallino rivestito di film sottile ad alte prestazioni è molto cotoso;
- il silicio amorfo monocristallino non è architettonicamente compatibile in questo contesto.

Abbiamo così optato per l'ultima soluzione che prevede una tecnologia di amorfo thin film high efficiency su tutta la superficie disponibile ottenendo 98.741 kWh di elettricità generata ogni anno.

Con questi risultati, sommati all'attenta progettazione degli involucri per il controllo delle dispersioni, otteniamo delle residenze in Classe A+ (9,55 kWh/m^2a) e la mediateca in Classe A (5,40 kWh/m^3a).

tab. 5.43 - *Scenario 1: mix Amorfo e Monocristalllino.*

	Area	$P_{N, TOT}$	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
	[m²]	*[kW$_p$]*	*[KWh]*	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
Amorfo	419	*24,23*	*27.213*	*1.360.625*	*18.233*	*201.574*
Monocristallino	197	28,79	*30.687*	1.535.685	20.579	227.482
Totale	617	*53,02*	**57.900**	*2.896.310*	*38.812*	*429.056*

tab. 5.44 - *Scenario 2: Monocristalllino rivestito da film di amorfo.*

	Area	$P_{N, TOT}$	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
	[m²]	*[kW$_p$]*	*[KWh]*	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
Monocristallino rivestito con film amorfo	617	104,02	**115.668**	5.248.570	77.499	856.812

tab. 5.45 - *Scenario 3: mix Amorfo thin film high efficiency e Monocristalllino rivestito con film di amorfo.*

	Area	$P_{N, TOT}$	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
	[m²]	*[kW$_p$]*	*[KWh]*	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
Amorfo thin film high efficiency	419	56,00	*66.863*	3.343.155	44.799	495.321
Monocristallino rivestito con film amorfo	197	38,47	41.110	2.055.480	27.544	304.516
Totale	617	*94,47*	**107.973**	5.398.635	72.343	799.837

tab. 5.46 - *Scenario 4: Amorfo thin film high efficiency.*

	Area	$P_{N, TOT}$	Elettricità generata ogni anno	Ore tot luce generate all'anno	Emissioni CO_2 evitate	Distanza percorsa da un auto elettrica
	[m²]	*[kW$_p$]*	*[KWh]*	*[h]*	*[kg CO_2]*	*[km]*
Amorfo thin film high efficiency	617	84,64	**98.741**	4.937.034	66.158	731.457

fig. 5.282 - *Vista dal giardino dell'asilo*

SISTEMA TECNOLOGICO

tecnologia stratificata a secco

capitolo 06

6.1 SOSTENIBILITÀ

La più nota definizione di sviluppo sostenibile è quella fornita dalla Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo, presieduta da Gro Harlem Brundtland, nel 1987 (Commissione Brundtland):

'L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè di far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità delle generazioni future di rispondere ai loro'.

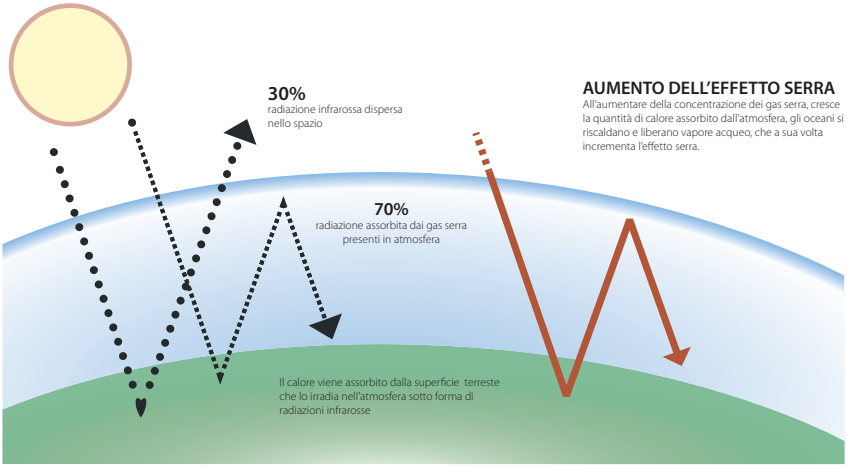
La sostenibilità è un tema orma discusso in tutte le discipline, siano esse di prevenzione che di monitoraggio. A seguito di analisi e previsioni sostenute a livello mondiale, lo sviluppo sostenibile presuppone l'armonia di tre campi principali, ovvero: ambiente, economia e società. Lo scopo di un progetto a lungo termine di sostenibilità propone una visione di vita più armoniosa e rispettosa del suo prossimo tanto quanto del Pianeta e soprattutto delle generazioni future.

Il motivo di questa necessità di innovazione è una variazione delle condizioni climatiche anomala e riconducibile (almeno teoricamente) all'attività umana.

6.1.1 EFFETTO SERRA

Il clima è influenzato da diversi fattori, primo tra tutti è l'energia trasmessa dal Sole alla Terra. Quest'energia viene trasformata in calore e parte di questo viene assorbito dai gas presenti nell'atmosfera (detti *gas serra* di cui il componente principale è l'anidride carbonica) prima di essere riflessi verso lo spazio. Questo fenomeno fisico prende il nome di *Effetto Serra*. Senza di esso la temperatura media sulla Terra sarebbe di -18°, le acque sarebbero congelate e non ci sarebbe vita.

L'eccessiva immissione di gas nocivi da parte dell'attività umana (e di altri fattori) provoca squilibri climatici al pianeta.



I gas serra sono composti da:

- anidride carbonica (CO_2)
- metano (CH_4)
- protossido di azoto (N2O)
- ozono (O_3)
- vapore acqueo e alocarburi (CFC, HCFC, HFC)

Le attività umane che producono questi tipi di gas sono:

- uso di combustibili fossili (petrolio, carbone, etc.) impiegati per il riscaldamento, per la produzione di energia, nei trasporti e per la produzione industriale. Il gas principalmente emesso in atmosfera è l'anidride carbonica (CO_2)

- lo smaltimento dei rifiuti. Il gas principalmente emesso è il metano (CH_4)
- ricorso a fertilizzanti in agricoltura che generano protossido i azoto (N_2O)

Negli ultimi 40 anni il fabbisogno energetico mondiale ha avuto un incremento del 450%, richiedendo al contempo un aumento nell'uso di combustibili fossili, quindi provocando un maggiorazione delle emissioni di anidride carbonica da 16 mila Mton (1973) a circa 27 mila Mton (2004), che corrisponde ad un incremento del 68%. La concentrazione in atmosfera di CO_2 è aumentata a 380 ppm (parti per milione), ovvero del 20% in meno di 50 anni.

L'incremento della popolazione mondiale da 6 fino a 9 miliardi previsto entro il 2050, insieme all'ingresso nel sistema di sviluppo economico mondiale dei Paesi emergenti quali la Cina e l'India, rende la situazione ancora più allarmante.

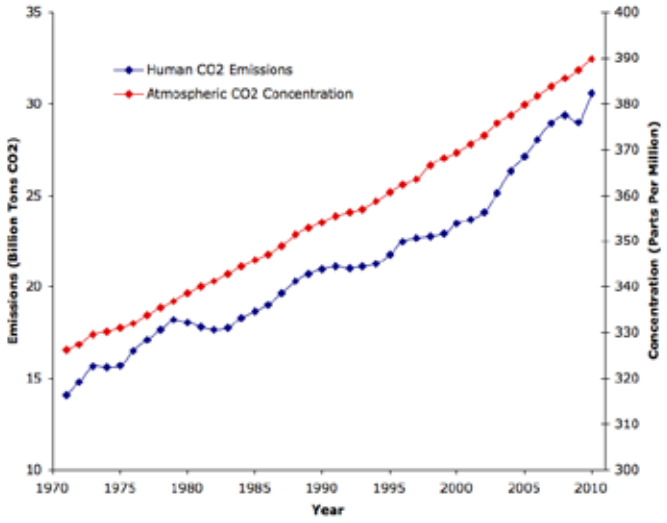


fig. 6.283 - *Diagramma delle emissioni rispetto alle concentrazioni di CO_2 atmosferica*

Fonte: IEA e Mauna Loa record

L'espansione delle città e l'aumento di richiesta di materie prime come il legno, cooperano al processo di deforestazione che riduce l'anidride carbonica assorbita (e l'ossigeno prodotto) dalle piante durante la fotosintesi clorofilliana.

A seguito di queste condizioni, nei prossimi anni si prospetta un aumento della concentrazione di gas serra che causerà un incremento della temperatura media della Terra distribuito principalmente ai poli e meno all'equatore.

Il risultato di questa distribuzione disomogenea causerà forti squilibri dei venti, correnti e precipitazioni che saranno più frequenti, con picchi più alti ed imprevedibili e comporterà il discioglimento dei ghiacci ed innalzamento dei mari.

Allo scopo di frenare questo trend, è necessaria l'adozione di forti politiche volte alla sostenibilità, all'informazione insieme ad una variazione degli stili di vita e di produzione società contemporanea.

I punti chiavi volti ad accentuare questo sviluppo sono:

- ***Sviluppo delle energie rinnovabili*** da parte della ricerca ed integrazione in tutti i campi di produzione e vita della società.
- ***Uso efficiente dell'energia nel settore edilizio e domestico*** grazie ad una corretta progettazione ed uso degli edifici, insieme alla promozione e all'acquisto di apparecchi a basso consumo e di automazione dei sistemi di climatizzazione.
- ***Riduzione dei rifiuti*** attraverso una progressiva sostituzione dei metodi di smaltimento a favore del recupero e riciclo dei rifiuti.
- ***Interventi su traffico e mobilità*** con incentivi a favore di forme di trasporto eco-compatibili (car pooling, car sharing, auto elettriche, etc.) e la promozione del trasporto pubblico.
- ***Interventi nei processi di combustione nell'industria*** con la riduzione dei consumi energetici nei cicli produttivi, attraverso l'impiego di sistemi a

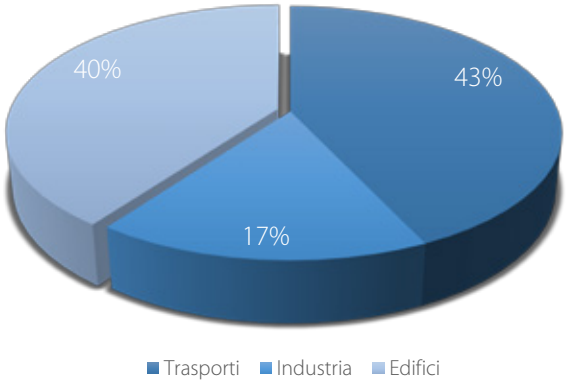
cogenerazione e l'incremento di efficienza degli impianti industriali.

- ***Promuovere l'agricoltura sostenibile*** incentivando l'agricoltura biologica, educando ad una corretta applicazione dei fitofarmaci al fine di una loro riduzione d'uso, o meglio della loro sostituzione con prodotti alternativi di nuova generazione o con metodi tradizionali, ottimizzando l'impiego delle risorse idriche e delle macchine al fine di ridurre i consumi energetici e migliorare le rese.

6.1.2 FABBISOGNO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

In Italia, come in Europa, gli edifici sono responsabili del consumo del 40% della totale energia primaria (contro il 17% dell'industria ed il 43% dei trasporti). Occorre agire in tutte i settori allo scopo di ridurre le emissioni di gas serra.

Da recenti indagini sviluppate dall'Eurostat (Istituto di Statistica Europeo), il 31% dell'energia elettrica e il 44% dell'energia termica prodotta, sono consumati da case, uffici ed edifici commerciali causando il 36% delle emissioni di CO_2 in Europa.



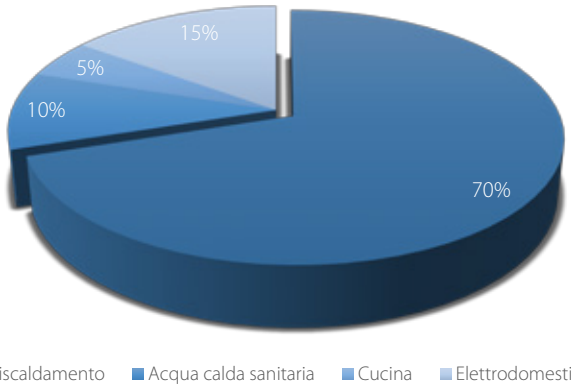


fig. 6.284 - *Ripartizione dei consumi in Europa tra i diversi settori*

fig. 6.285 - *Consumo energetico globale degli edifici.*

Fonte: Ape. Agenzia provinciale per l'energia

La maggior parte di questa energia è utilizzata per il riscaldamento (70%) e la climatizzazione (25%). Questi dati mostrano quanto sia importante sfruttare fonti rinnovabili, progettare self-sustainable buildings e ridurre l'impatto ambientale del costruito. Ad oggi esistono tutte le tecnologie necessarie ad operare nel campo dell'architettura per risanare energeticamente l'edificato e progettare edifici di nuova concezione con fabbisogno quasi nullo.

La Commissione Europea con la direttiva *Building Performance Energy* (2010/31/CE) ha stabilito che entro il 2020 tutti i nuovi edifici costruiti sul territorio dell'Unione Europea devono sottostare agli standard *Nearly Zero Energy Building*.

L'acronimo *nZEB* descrive il nuovo modo di progettare e costruire l'architettura,

ovvero è destinata a tutti gli edifici ad altissima prestazione energetica, con fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

L'obiettivo principale dell'Unione Europea mira a ridurre drasticamente l'emissione dei gas serra dell'80% in riferimento ai livelli del 1990.

A causa delle diverse culture architettoniche e climatiche, l'Unione Europea non prescrive un approccio uniforme per l'implementazione di *nZEB*, ma concede alle nazioni la flessibilità di pianificare metodologie di progettazione adeguate alle diverse necessità.

In Europa sono stati progettati numerosi edifici ad altissima efficienza ed *environment-friendly* (passive house, zero-enery, 3-litre, plus energy, Minergie, Effinergie, etc.).

Grazie a questi esempi, i concept energetici necessari al raggiungimento di progetti *nZEB,* hanno avuto la possibilità di essere ampiamente testati con successo.

Il processo di formazione di figure professionali adeguate alla progettazione di edifici complessi ed evoluti, così come l'adeguamento da parte delle imprese produttrici e di centri di ricerca, ha già da anni preso piede. Un fattore molto importante che influenzerà notevolmente la riuscita del progetto *nZEB*, sarà il grado di maturità dei diversi paesi ed i loro mercati degli immobili.

L'obiettivo dell'annullamento delle emissioni nocive da parte dei nuovi edifici, richiede lo sviluppo di un processo di progettazione integrato che tenga conto dei più importanti aspetti tecnologici sin dalle prime fasi della progettazione.

Pertanto il giusto orientamento, esposizione e progettazione dell'involucro dell'edificio, così come le sue prestazioni e la scelta dei sistemi integrati solari, devono essere considerati soprattutto durante la progettazione preliminare, aumentando l'energia solare passiva captata, riducendone le dispersioni e garantendo un efficace ombreggiamento durante la fase estiva.

Questi fattori devono essere parte integrante dell'edificio, la cui progettazione diventa complessa e richiede figure professionali in grado di valutare le diverse opzioni ed effettuare scelte adeguate e bilanciate per ottimizzare l'edificio e rendere possibile il soddisfacimento del fabbisogno sfruttando sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili.

fig. 6.286 - *Sede Eurostat (istituto di statistica europeo) a Lussemburgo*

6.1.3 RIFERIMENTI NORMATIVI

EPBD - Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia

La Direttiva europea 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale europea del 18 giugno 2010 ed è entrata in vigore il 9 luglio 2010 e sostituendo la direttiva 2002/91/CE, abrogata l'1 febbraio 2012.

La nuova direttiva deriva dalle richieste formulate nella risoluzione del 31 gennaio 2008 del Parlamento europeo, il quale ha invitato a rafforzare le disposizioni della direttiva EPBD richiedendo di rendere vincolante l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020.

La Direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e dell'efficacia sotto il profilo dei costi.

La Direttiva in sintesi

Nel provvedimento è definito il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica degli edifici e delle unità immobiliari che i Paesi membri dell'Unione Europea sono tenuti ad applicare in conformità a quanto indicato nella Direttiva. La metodologia di calcolo dovrà tenere conto sia della tipologia di

edificio (abitazioni, uffici, ospedali, ristoranti, etc.) che delle sue caratteristiche termiche e delle divisioni interne, degli impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda, di condizionamento e ventilazione, di illuminazione, della progettazione, posizione e orientamento, dei sistemi solari passivi e di protezione solare.

I requisiti minimi di prestazione energetica

Gli Stati membri dell'Unione Europea dovranno adottare le misure necessarie affinché siano fissati requisiti minimi di prestazione energetica (rivisti a scadenze regolari non superiori a cinque anni e, se necessario, aggiornati in funzione dei progressi tecnici nel settore edile) per gli edifici o le unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi.

Calcolo dei livelli ottimali

Con il Regolamento delegato n. 244/2012 del 16 gennaio 2012 (pubblicato sulla GUCE L 81 del 21 marzo 2012) la Commissione ha stabilito un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi. Gli Stati membri dovranno calcolare i livelli ottimali utilizzando tale quadro comparativo e raffronteranno i risultati di tale calcolo con i requisiti minimi di prestazione energetica in vigore. Entro il 30 giugno 2012, gli Stati membri trasmetteranno alla Commissione la prima relazione contenente i risultati ottenuti. Se i requisiti minimi vigenti risulteranno sensibilmente meno efficienti dei livelli ottimali, gli Stati dovranno giustificare tale differenza per iscritto alla Commissione e ridurre il divario.

Edifici nuovi ed esistenti

Per gli edifici di nuova costruzione gli Stati dovranno garantire che sia valutata la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza tra cui: sistemi di fornitura energetica decentrati basati su fonti rinnovabili, cogenerazione, teleriscaldamento o teleraffrescamento, pompe di calore. Per gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni di rilievo, la prestazione energetica dovrà essere migliorata al fine di soddisfare i requisiti minimi.

Impianti tecnici per l'edilizia

Allo scopo di ottimizzarne i consumi, gli Stati dovranno stabilire requisiti minimi per i sistemi tecnici per l'edilizia (impianti di riscaldamento e di produzione di acqua calda, impianti di condizionamento d'aria, grandi impianti di ventilazione).Inoltre, promuoveranno l'introduzione di sistemi di controllo attivi negli edifici in fase di costruzione o di importante ristrutturazione.

Edifici a energia quasi zero

Gli Stati dovranno provvedere affinché entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano "edifici a energia quasi zero", cioè ad altissima prestazione energetica, in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo sia coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili. Gli edifici pubblici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero a partire dal 31 dicembre 2018.

Attestato di prestazione energetica

Gli Stati membri dovranno istituire un sistema di certificazione energetica degli edifici. L'attestato comprenderà la prestazione energetica dell'edificio e i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di prestazione energetica, al fine di consentire ai proprietari o locatari di valutare e raffrontare la prestazione energetica. L'attestato - con validità di 10 anni - laddove non già disponibile in conformità alla direttiva 2002/91/CE, dovrà essere rilasciato per gli edifici costruiti, venduti o locati in cui una superficie di oltre 500 m2 sia occupata da enti pubblici e frequentata dal pubblico. A partire dal 9 luglio 2015 la soglia di 500 m2 viene abbassata a 250 m2.
Nella nuova Direttiva sono inoltre previste ispezioni periodiche degli impianti di riscaldamento e di condizionamento d'aria ad opera di esperti qualificati (e/o accreditati) e indipendenti.

La Direttiva 2002/91/CE e il recepimento italiano

Con la legge 31 ottobre 2003, n. 306, recante "Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee – Legge comunitaria 2003", il Parlamento ha delegato il Governo a recepire la direttiva 2002/91/Ce.
Il Governo ha esercitato tale delega con l'emanazione del Dlgs 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/Ce relativa al rendimento energetico in edilizia". Il decreto è stato modificato con l'emanazione del Dlgs 29 dicembre 2006, n. 311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192".

Il Dlgs 192/2005 prevedeva l'emanazione di diversi provvedimenti attuativi in relazione alla certificazione energetica degli edifici. E cioè:

- Un regolamento con le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, in materia di progettazione di edifici e di progettazione, installazione, esercizio, manutenzione e ispezione degli impianti termici. Il regolamento è stato varato con il Dpr 2 aprile 2009, n. 59 "Rendimento energetico in edilizia", pubblicato in gazzetta ufficiale 10 giugno 2009.
- Un decreto ministeriale per l'emanazione delle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici. Il Dm Sviluppo economico del 26 giugno 2009 contiene le Linee guida e i loro numerosi allegati.
- Un regolamento con i criteri di riconoscimento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e le ispezioni degli impianti di climatizzazione. Il Dlgs 115/2008 detta, nell'allegato III, i requisiti per i certificatori. Resterà valido fino alla pubblicazione del Dpr richiesto come attuativo dal Dlgs 192/2005.

Dopo la proposta di condanna della Commissione UE del 19 luglio 2012 per incompleto e inesatto recepimento della direttiva 2002/91/Ce, sono stati pubblicati in Gazzetta Ufficiale due decreti correttivi del Dm 26 giugno 2009 e del Dlgs 192/2005.

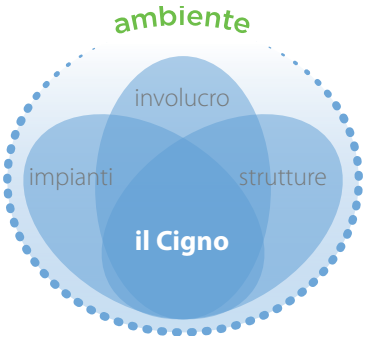
Il primo decreto è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 290 del 13/12/2012, con entrata in vigore il 28/12/2012. Il provvedimento introduce alcune modifiche alle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, contenute nel D.M. 26/06/2009, con l'obiettivo di favorire «una applicazione omogenea, coordinata e immediatamente operativa della certificazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale». In particolare elimina la possibilità per il proprietario dell'immobile di autodichiarare la classe energetica (la più bassa, la G) dell'immobile senza ricorrere alla

certificazione del tecnico abilitato.

Il secondo decreto (22 novembre 2012 - GURI n. 21 del 25/1/2013) modifica l'allegato A del Dlgs 192/2005, modificando tra le altre la definizione di diagnosi energetica. Essa è l'elaborato tecnico che individua e quantifica "le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo dei costi-benefici dell'intervento, individua gli interventi per la riduzione della spesa energetica e i relativi tempi di ritorno degli investimenti nonché i possibili miglioramenti di classe dell'edificio".

Il Consiglio dei Ministri del 15 febbraio 2013 ha varato il regolamento che definisce i requisiti per i certificatori energetici degli edifici e sulle operazioni di manutenzione e controllo negli impianti di climatizzazione invernale ed estiva negli edifici. I provvedimenti (Dpr 16 aprile 74/2013 e 75/2013) sanano i rilievi mossi dalla Commissione europea che aveva avviato una procedura di infrazione a carico dell'Italia per incompleto recepimento da parte dell'Italia della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia, completando di fatto l'attuazione del Dlgs 192/2005.

6.2 PROGETTAZIONE INTEGRATA



Il processo edilizio può essere definito come l'organizzazione coordinata e razionale delle attività che hanno come obiettivo la realizzazione di un prodotto.

La complessità ed il carattere architettonico e funzionale del *Cigno* hanno richiesto una particolare attenzione durante tutte le fasi di progettazione ed in particolare durante l'adozione di scelte tecnico-formali volte a rafforzare i pregi energetici, sociali ed architettonici dell'edificio.

La progettazione integrata costituisce una condizione metodologica necessaria alla progettazione di un edificio che rispetti gli alti standard dell'architettura contemporanea, limitandone i possibili extra-costi.

Durante la progettazione, le caratteristiche del contesto, le necessità del quartiere e di Milano, l'esposizione e le caratteristiche intrinseche del lotto, insieme alla volontà di raggiungere un alto standard di comfort interno, hanno richiesto un approccio olistico e multidisciplinare alla progettazione.

Le numerose variabili che hanno portato alla progettazione del *Cigno*, hanno richiesto approfondimenti riguardanti tutte le componenti dell'edificio, confermate e migliorate grazie all'interazione con diverse figure professionali che hanno guidato una evoluzione corretta dell'edificio.

Questo processo di *progettazione coordinata* considera l'edificio come un organismo in cui le interazioni tra le varie parti che lo costituiscono sono integrate ad un sistema tecnologico in grado di rispondere alle esigenze di flessibilità e dialogo tra i suoi componenti.

Le parole chiave che descrivono la progettazione integrata sono:

- processo interattivo
- flessibilità
- sinergia
- controllo

I vantaggi che offre questo metodo sono molteplici e riguardano sia la buona riuscita del progetto, che la continua formazione dei membri del team di progettazione in relazione ai problemi che insorgono nel processo di realizzazione di un edificio.

Grazie a queste considerazioni, il processo è in grado di aumentare la consapevolezza di ogni attore che partecipa alla progettazione e, grazie a questa evoluzione, permette all'innovazione architettonica di concretizzarsi.

L'approccio convenzionale, al contrario, prevede una progettazione sequenziale, in cui non vi è coperazione tra i diversi attori che partecipano alla progettazione.

Il risultato ottenuto con questo approccio è quasi imprevedibile e notevolmente influenzato dalle competenze di ogni singolo attore.

APPROCCIO CONVENZIONALE

- lineare
- sequenziale
- il risultato è imprevedibile

APPROCCIO INTEGRATO

- sinergico
- interattivo
- il risultato è controllato

fig. 6.287 - *Organigramma Progettazione Integrata*

La nascita di sistemi costruttivi più evoluti, richiedono al cantiere di comportarsi come una catena di montaggio in cui i vari sottoinsiemi sono assemblati sapientemente, offrendo prestazioni garantite e certificate da ogni produttore, generando un organismo di alta qualità.

Il percorso della progettazione integrata prevede di stabilire gli obiettivi condivisi per ogni attore che si occupa di progettazione, pianificazione e costruzione dei componenti e dei sistemi.

La formazione di un team operativo integrato multidisciplinare aumenta il controllo sulle variabili dell'organismo edilizio. A questo processo partecipano sia i progettisti che i portatori di interesse (committente e impresa), la cui collaborazione riduce il rischio di incongruenza tra le aspettative e i risultati, sfavorendo la generazione di contenziosi ed aumentando il grado di sicurezza con il quale viene svolto il lavoro.

Le valutazioni che sono oggetto di discussione riguardano i seguenti campi:

- costi
- qualità della vita
- flessibilità
- efficienza
- sostenibilità
- produttività
- creatività

Gli attori cooperano e svolgono delle mansioni prestabilite, ma allo stesso tempo collaborano tra di loro creando una rete di interazione organica in grado di cambiare il progetto ed ottimizzarlo sotto ogni aspetto.

Cooperare con professionisti specializzati sin dalle prime fasi della progettazione consente di ottimizzare energie e costi. Concept progettuali alternativi proposti nelle fasi finali risultano del tutto inefficienti perché comportano costi notevoli e modifiche nei tempi di realizzazione.

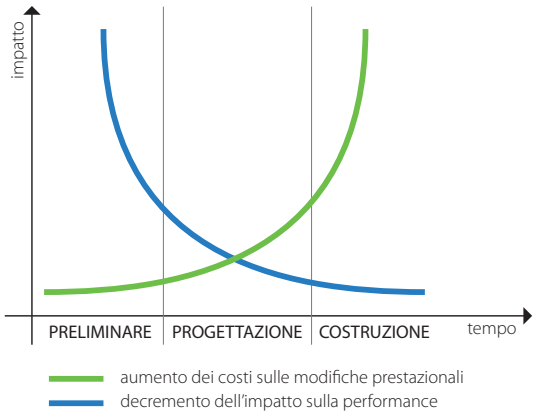


fig. 6.288 - *Inter-relarione tra l'aumento dei costi sulle modifiche prestazionali e decremento dell'impatto sulla perormance nelle diverse fasi progettuali*

Gli obiettivi generali del processo edilizio sono connessi con la realizzazione e gestione di una opera civile o di architettura che garantisca:

- la qualità complessiva della realizzazione
- la realizzazione in tempi definiti e ottimizzati
- l'ottimizzazione dell'uso delle risorse impegnate, interne e esterne alla organizzazione degli attori principali
- l'economia della produzione e della gestione in relazione alle previsioni e alle condizioni di mercato

La progettazione del *Cigno* è stata organizzata secondo un modello 'Project Mangement', in cui i progettisti si sono confrontanti con diverse figure professionali durante tutta la fase di progettazione.

Sulla base dell'analisi del modello adottato, di seguito è riportata una lista degli attori che appartengono al team di progettazione insieme al dettaglio delle loro mansioni.

tab. 6.47 - *Gli attori della Progettazione Integrata*

Attori	Funzione
committente (o suo rappresentante)	difende e chiarifica gli obiettivi funzionali, è parte del processo decisionale
consulente di marketing	supporta il committente durante la fase di definizione degli obiettivi e durante il processo decisionale
direttore lavori	controlla il progetto sia eseguito nel rispetto delle indicazioni tecniche, amministrative e contabili previste dal progetto e dalle normative vigenti
project manager/progettista	si occupa della progettazione e gestisce l'interazione tra le consulenze specializzate
progettista di strutture	calcola le strutture che compongono l'edificio
progettista degli impianti	sviluppa il progetto degli impianti meccanici
urbanista/paesaggista	studia l'interazione del progetto con il contesto
quantity surveyor	analizza i costi del processo di progettazione e costruzione
consulenti specialisti (acustica, sostenibilità, etc.)	supportano la progettazione
appaltatore - impresa di costruzione	cura la logistica del processo di costruzione
imprese specializzate	contribuiscono alla costruzione dell'opera
produttori e fornitori	realizzano sistemi o parti di sistemi tecnologici
collaudatore	verifica il corretto funzionamento dei componenti dell'edificio e li certifica
coordinatore della sicurezza	sia in fase progettuale che di esecuzione (CSP e CSE), individua e valuta i rischi, coordina l'interazione tra le diverse imprese, definisce i costi della sicurezza, redige il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e il fascicolo dell'opera

6.2.1 FASI DEL PROCESSO EDILIZIO

Il processo di produzione di un edificio, similmente a qualsiasi processo industriale, prevede una struttura operativa finalizzata al raggiungimento di obiettivi, la quale deve essere organizzate ed avere i mezzi necessari per lo sviluppo del processo.

Il processo edilizio relativo ad un organismo architettonico si articola in fasi, ovvero insieme di attività complesse gestite da uno o più attori del processo.

Fase strategica

Fattibilità

La fase iniziale di realizzazione dell'opera prevede l'avvio dell'organizzazione del processo. Il suo scopo è quello di definire il quadro generale dei bisogni insieme ad una prima specificazione degli obiettivi.

A seguito dell'analisi del bando di concorso, la porzione di edificio sopraelevata è stata destinata a residenze, mentre la libertà di scelta riguardo alle attività dei piani interrati e del piano terra ha necessitato un'approfondita analisi delle possibili funzioni che la porzione di edificio dedicato alla città potrebbe ospitare.

Questa scelta, discussa con i diversi attori della progettazione, è frutto di uno studio di fattibilità che tiene conto di diverse variabili, tra cui: lo spazio disponibile, l'urbanistica, il grado di servizio offerto alla società in rapporto con il relativo costo, i tempi di realizzazione e le relative ripercussioni sul contesto, etc.

Parallelamente è stata effettuata un'attenta identificazione dei vincoli di tipo normativo, ambientale e di mercato che hanno ridotto le alternative di scelta.

Indicazioni preliminari alla progettazione

Una volta identificate le alternative, si è instaurato un meccanismo decisionale coordinato tra i membri del team multifunzionale grazie al quale sono state decise le funzioni che l'edificio ospita.

Inoltre, sono stati definiti il livello di qualità dell'intervento, le specifiche di funzionamento del sistema edilizio e delle sue componenti, le normative di riferimento ed i requisiti tecnici.

La progettazione architettonica

Per progettazione architettonica si intende l'insieme delle attività utili a tradurre attraverso grafici e descrizioni le ipotesi e le scelte definite durante la fase strategica, reinterpretate secondo la sensibilità dei progettisti con un ulteriore grado di approfondimento.

Il risultato di questo processo è un prodotto utile a comunicare la visione dell'opera e grazie al quale è possibile procedere con una rappresentazione progressivamente più dettagliata dei vari componenti che la costituiscono al fine di facilitare le scelte che guidano il processo esecutivo.

La progettazione architettonica si sviluppa per dominare la complessità del sistema e delle variabili in gioco, attraverso la classificazione di sotto-sistemi e dei loro componenti, coesi in una concezione unitaria dell'opera.

Di seguito sono discusse le principali attività che riguardano la progettazione architettonica.

La progettazione funzionale o metaprogettazione

La metaprogettazione ha come finalità la descrizione del funzionamento dei vari elementi che compongono l'edificio (sia tecnologici che spaziali).

Il risultato di questo processo consente di esplicitare i modelli di correlazione funzionale delle componenti edilizie e dei loro sotto-insiemi e di esprimerne le caratteristiche in funzione delle esigenze di utilizzo (requisiti e richieste prestazionali).

La progettazione degli spazi e della loro distribuzione

Il corretto funzionamento di un impianto, così come il suo livello di comfort, comportano uno approfondito studio dei flussi, delle dimensioni, della morfologia, della percezione dei singoli spazi e della loro interazione.

Questa tipologia progettazione è molto importante soprattutto nel caso di opere pubbliche in cui i volumi di persone che usufruiscono dell'opera sono ampi.

La progettazione dei parametri igienico – ambientali degli spazi

La composizione architettonica deve essere guidata alla massimizzazione dei parametri igienico-ambientali. Questi consentono lo svolgimento ottimale delle attività degli organizzatori che non necessitano di variali se non in piccole percentuali.

Lo scopo di questa massimizzazione è lo sfruttamento delle componenti naturali (luce, aria, etc.) allo scopo di ottenere un qualità del comfort alta a costo minimo.

Questi parametri definiscono i livelli minimi di qualità dei rispettivi campi (illuminotecnico, termo-igrometrico, acustico, di purezza dell'aria, etc.)

La progettazione tecnologica

Consiste nella definizione dei caratteri dimensionali e tecnici degli elementi costruttivi. Il processo progettuale si sviluppa per livelli di approfondimento progressivi. In base al livello di approfondimento i progetti consentono la verifica da parte della committenza la coerenza del risultato rispetto agli obiettivi e le esigenze di target, agli enti preposti al controllo di verificarne la conformità alla normativa vigente, all'appaltatore di acquisire una corretta visione da interpretare per la realizzazione dell'opera e la relativa estimazione.

I livelli di approfondimento si distinguono in:

- progetto preliminare
- progetto definitivo
- progetto esecutivo
- (progetto operativo)

La progettazione economico-finanziaria

Durante la fase di progettazione architettonica, la progettazione economica contribuisce alla scelta delle soluzioni tecniche, stima l'importo dei lavori delle opere progettate, stima l'ammontare degli investimenti necessari alla committenza per realizzare l'opera.
Nella fase di partecipazione alla gara di appalto, la progettazione economica consente alle imprese concorrenti di proporre, attraverso la determinazione in forma sintetica o analitica dei costi di costruzione, i prezzi delle singole lavorazioni e/o l'offerta economica complessiva.
Nella fase esecutiva, invece, la progettazione economico-finanziaria consente all'impresa appaltatrice di specificare il budget dei costi e dei ricavi e di stimare il piano finanziario della commessa, di controllare che durante l'esecuzione sia rispettato il budget e di valutare la correttezza del processo di costruzione attraverso la gestione economica dell'esecuzione.
Durante fase gestionale consente di stimare e controllare i costi relativi all'utilizzo dell'impianto tra i quali la manutenzione ordinaria e straordinaria, i costi della pulizia, i costi delle utenze dei servizi tecnologici ed i consumi.

L'esecuzione

A seguito del conclusione della progettazione architettonica ed economica-finanziaria, subentra la fase esecutiva.

Questa fase consiste nella scomposizione dell'edificio in lavorazioni che necessito di una programmazione mirata a massimizzare il risultato ed a evitare incongruenze con il progetto e tra le diverse lavorazioni.

La progettazione operativa

E' il sistema di attività che consente di tradurre i contenuti morfologici e tecnologici del progetto in disposizioni esecutive.

La progettazione operativa consente di definire:

- il processo produttivo articolato in partizioni di lavoro
- le risorse impiegate (manodopera, materiali, macchine, attrezzature e forniture)
- le produzioni unitarie
- i ruoli, le competenze e le responsabilità degli addetti nello svolgimento delle diverse attività
- le postazioni di lavoro del cantiere e il layout delle stesse

I risultati della progettazione operativa sono

1. progetto operativo del cantiere
2. progetto operativo di costruzione
3. progetto del cantiere

Attività di produzione

Detta attività consente di comprende le attività di trasformazione dei materiali grezzi in materiali da costruzione, in semilavorati e in elementi semplici che si svolgono in cantiere e/o in centri di produzione esterni.

Esse vengono organizzate e gestite sia all'interno del cantiere edile che dalle imprese che appartengono all'industria manifatturiera.

Attività di produzione industriale di componenti tecnologici.

E' l'attività che trasforma il materiale grezzo, i semilavorati e gli elementi semplici in prodotti dimensionalmente definiti, aventi una specifica forma e capaci di integrarsi durante la fase di montaggio con altri componenti.

L'evoluzione del cantiere e dell'architettura richiede sempre di più componenti sofisticate e con errori dimensionali sempre più ridotti. Questo cambiamento porta a spostare molte lavorazioni all'esterno del cantiere, in ambienti specializzati e idonei allo

sviluppo dei vari componenti grazie all'impiego di attrezzature e conoscenze tecniche mirate allo svolgimento di specifiche attività.

Questo processo di industrializzazione viene chiamato prefabbricazione.

Attività di costruzione

E' il processo operativo che si svolge in cantiere e che comprende tutte quelle attività finalizzate alla predisposizione delle condizioni per consentire la produzione e all'esecuzione dell'opera. Queste operazioni consistono in:

- predisposizione del cantiere
- tracciamento plano-altimetrico dell'opera da eseguire
- l'approvvigionamento dei materiali, dei prefabbricati e dei componenti industrializzati e il loro stoccaggio
- la produzione in cantiere di materiali e semilavorati
- il montaggio dei prefabbricati e dei componenti industrializzati e l'esecuzione diretta delle lavorazioni
- l'esecuzione delle opere di finitura
- la sistemazione finale dell'area

Il controllo

Il controllo si identifica con l'insieme delle operazioni di verifica dei risultati che derivano dall'intero processo e/o dalle sue singole attività. Questi riguardano la qualità, il rispetto dei tempi, l'economia.

La gestione

E' il processo decisionale comprendente le attività che a partire dall'inizio dell'utilizzazione dell'opera si susseguono fino alla fine della sua vita utile.
Il processo di gestione si articola in molteplici attività classificate come segue.

Gestione corrente

La gestione dell'attività finalizzata a mantenere l'opera in condizioni ottimali di fruibilità in relazione all'uso.

Esercizio degli impianti tecnici

Le attività di gestione dell'esercizio degli impianti in base alle istruzioni contenute nei piani di gestione e secondo il calendario stabilito dal programma di gestione.

Manutenzione ordinaria

Attività che sono necessarie per mantenere nel tempo il livello prestazionale degli elementi tecnici in base alle istruzioni contenute nei piani di manutenzione e secondo le modalità temporali stabilite dal programma di gestione.

Manutenzione straordinaria

Comprende le attività che sono necessarie per ripristinare nel tempo il livello prestazionale degli elementi tecnici in base alle istruzioni contenute nei piani di manutenzione e secondo le modalità temporali stabilite dal programma di gestione.

Recupero edilizio

Comprende le attività di sostituzione parziale dell'opera in relazione al degrado funzionale irreversibile degli elementi costruttivi e/o a un cambio di uso.

Demolizione

Attività conseguente alla constatazione del degrado irreversibile dell'intera opera.

6.3 TECNOLOGIA STRATIFICATA A SECCO

fig. 6.291 - *Federal Center South Building, ZGF Architects LLP*

Le tecniche relative alla costruzione stratificata a secco, stanno assumendo in Europa un'importanza sempre crescente. Timidamente, questo processo innovativo sta prendendo piede anche in Italia, accostandosi alle filosofie architettoniche dei Paesi del Nord Europa.

Questo processo consiste nell'assemblaggio meccanico dei diversi elementi costruttivi, al fine di creare sistemi stratificati in cui ogni layer che lo compone ha una (o più) funzioni specifiche.

La nascita di questo sistema non è attribuibile ad un periodo preciso, basti pensare che schemi compositivi simili si riscontrano nei Trockenbau di origine anglo-tedesca, così come nelle Structure-Envelope francesi (da cui prende il nome la corrente italiana).

Questi sistemi costituiti principalmente da telai in legno o in acciaio sono molto simili alle tecniche costruttive Americane come il Balloon Frame (conosciuto anche come *Chicago construction*) del XIX secolo, che più recentemente si è evoluto in Platform frame.

I primi articoli pubblicati da Solon Robinson a riguardo di queste tecnologia risalgono agli anni 1830.

La tecnologia stratificata a secco offre molteplici vantaggi rispetto al sistema tradizionale migliorando la i livelli di comfort degli edifici e creando nuove opportunità creative nell'architettura contemporanea.

fig. 6.290 - *schema modalità e tecnica costruttiva S/R*

fig. 6.289 - *Sistema Ballon Frame*

L'edificio è concepito come un aggregato di sistemi costruttivi costituiti da elementi tecnici (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) composti da diversi materiali (cemento armato, acciaio, legno, muratura, etc.), utilizzati secondo processi

produttivi (in opera, prefabbricato, semi-prefabbricato)

Secondo gli Eurocodici, un sistema costruttivo è un classe di procedimenti costruttivi definita dal principale materiale strutturale. Il procedimento costruttivo, invece, è definito dal metodo con il quale la costruzione viene realizzata.

Di seguito sono elencate le tre macro-categorie con cui è possibile operare nelle costruzioni edilizie.

blocco su blocco

fig. 6.292 - *Metodo costruttivo Blocco su blocco*

cassero/riempimento

fig. 6.293 - *Metodo costruttivo Cassero/Riempimento*

struttura/rivestimento

fig. 6.294 - *Metodo costruttivo Struttura/Rivestimento*

L'esigenza di progettare un edificio *nZEB*, la volontà morfologica-formale di creare un'architettura con un forte carattere innovativo, insieme alle conseguenze che avrebbe il cantiere sul quartiere di Brera, hanno guidato la scelta verso l'uso esteso di tecnologie leggere.

La caratteristica principale del sistema costruttivo a secco consiste nell'utilizzo di soluzioni costruttive realizzate assemblando elementi diversi, tramite collegamenti meccanici e senza l'impiego di materiali di connessione destinati a consolidarsi dopo la posa.

Questo sistema costruttivo, grazie alla sua flessibilità, offre la possibilità di ottenere standard qualitativi e prestazionali in grado di ottemperare alle normative tecniche in termini di qualità funzionale (isolamento termico, acustico, etc.), ed operativa (assemblabilità, ispezionabilità, manutenibilità, etc.).

Lo spostamento delle lavorazioni dal cantiere all'officina consentito dalla leggerezza dei suoi componenti, favorisce il rispetto dei tempi e costi di costruzione, consentendo una totale corrispondenza tra elaborazioni progettuali ed esiti realizzativi.

Inoltre, esso è un metodo totalmente reversibile ed i cui componenti, a seguito dello smontaggio, sono per la maggior parte riciclabili.

Il sito di costruzione di un edificio realizzato con queste tecnologie consente un maggior grado di ordine e pulizia e spesso evita l'utilizzo di grossi impianti di cantiere.

Il sistema stratificato a secco, ovvero S/R (struttura/rivestimento) è composto principalmente da tre componenti:

involucro esterno. La sua funzione è controllare le sollecitazioni dell'ambiente esterno e filtrare i flussi di scambio con l'ambiente interno. Deve quindi proteggere dalle intemperie e dai rumori proveniente dall'esterno verso l'interno.

struttura portante. Il suo scopo è quello di sorreggere il carico proprio, i carichi dei rivestimenti e di servizio. Inoltre deve rispondere alle sollecitazioni orizzontali generate dal sisma oppure dal vento.

rivestimento interno. Deve ottemperare alle prescrizioni di comfort visivo e tattile, proteggere la struttura dal fuoco e limitare le dispersioni acustiche tra gli ambienti interni, oltre che consentire la distribuzione degli impianti di servizio.

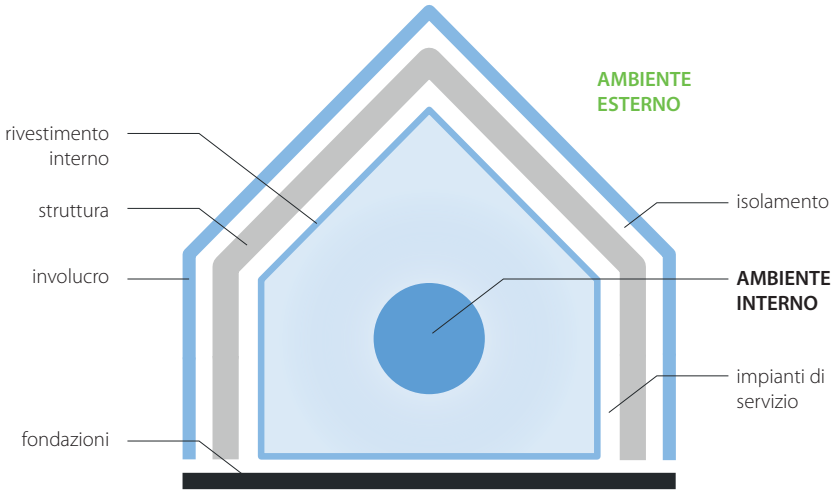


fig. 6.295 - *Schema funzionale del sistema stratificato a secco*

6.4 SCOMPOSIZIONE DEL SISTEMA EDILIZIO

Organismo edilizio. Insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche.

Secondo la normativa UNI10838, l'edificio non è una semplice sommatoria di spazi, elementi tecnici, materiali ed impianti, ma è un sistema in cui ogni elemento si relaziona all'altro in modo complesso per soddisfare i bisogni dell'utenza.

Per sistema edilizio si intende l'insieme delle parti che compongono un'opera edilizia, ovvero l'insieme strutturato di unità ambientali/elementi spaziali (sistema ambientale) e di unità tecnologiche/elementi tecnici corrispondenti (sistema tecnologico).

Il sistema edilizio può essere considerato come:

- un sistema meccanico o tecnologico (macchina per abitare)
- un sistema biologico o ambientale (l'edificio dialoga con l'ambiente)

Il sistema ambientale si identifica con un raggruppamento di attività compatibili spazialmente e temporalmente, definite in relazione a determinati modelli di comportamento dell'utenza. L'elemento spaziale si identifica con una porzione di spazio fruibile destinata ad accogliere, interamente o parzialmente, una o più unità ambientali.

ovvero: 'L'insieme strutturato di unità ambientali (da utilizzarsi in fase metaprogettuale) o di elementi spaziali (da utilizzarsi in fase progettuale) definiti nelle loro prestazioni e nelle loro relazioni.'

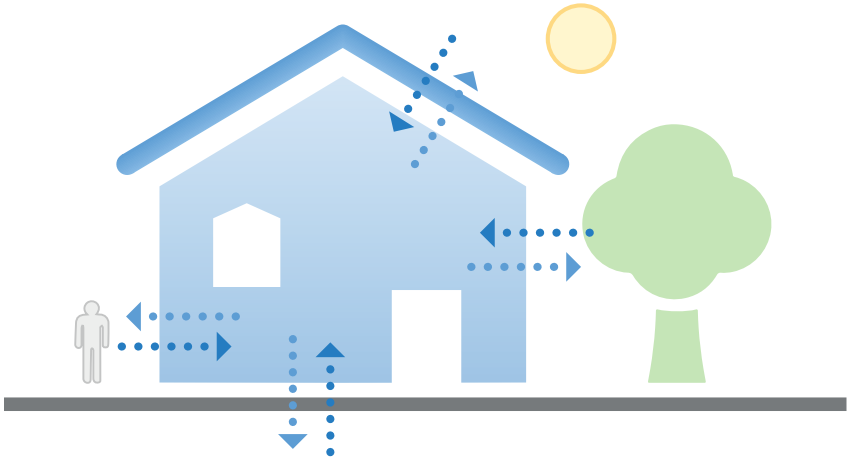


fig. 6.296 - *Interazione tra edificio e ambiente*

Lo spazio interno di un edificio si relaziona con l'esterno tramite scambio flussi di persone, cose, materiali ed energia.

Il sistema tecnologico, invece, consiste nell'insieme delle funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali. L'elemento tecnico è un elemento che si identifica con un prodotto edilizio, più o meno complesso, capace di svolgere, completamente o parzialmente, funzioni proprie di una o più unità tecnologiche.

ovvero: 'Insieme strutturato di unità tecnologiche e/o di elementi tecnici definiti nei loro requisiti tecnologici e nelle loro specificazioni di prestazione tecnologica.'

Per quanto riguarda la progettazione del sistema ambientale si rimanda al relativo capitolo.

Al fine di rendere la progettazione oggettiva è necessario comprendere a pieno la scomposizione del sistema tecnologico.

La norma UNI8290-1:1981 scompone il sistema tecnologico secondo tre livelli:

classi di unità tecnologiche *(primo livello).* comprendono un insieme di unità tecnologiche (es: struttura portante, chiusura, partizione esterna, etc.)
unità tecnologiche *(secondo livello).* raggruppamento di funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali.
classi di elementi tecnici *(terzo livello).* comprendono un insieme di elementi tecnici (es: strutture di fondazione, pareti interne verticali, coperture, etc.)
elementi tecnici *(...).* Prodotto edilizio più o meno complesso capace di svolgere completamente o parzialmente funzioni proprie di una o più unità tecnologiche e che si configura come componente caratterizzante di un sub-sistema tecnologico.

Allo scopo di definire le funzioni delle parti (o strati funzionali) di ogni elemento tecnico, è possibile definire un'ulteriore scomposizione in *modelli funzionali*.

Una volta individuati le classi di elementi tecnici che compongono l'edificio, è necessario procedere con la scelta ed il dimensionamento degli strati funzionali al fine di ottemperare alle prescrizioni ottenute dall'analisi dei requisiti.

In fase di progettazione, i modelli funzionali sono lo strumento che consente di procedere progressivamente all'ottimizzazione delle soluzioni tecnologiche.

Questo tipo di scomposizione richiede di valutare le soluzioni in rapporto alle offerte di mercato e alla tecnologia disponibile.

Esempio di scomposizione tecnologica.

Classi di unità tecnologiche		
Chiusura		
Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno.		
	Unità tecnologiche	
	Chiusura verticale	
	Insieme degli elementi tecnici verticali del sistema edilizio aventi funzione di separare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno.	***Classi di elementi tecnici***
		Pareti perimetrali verticali

Una volta individuata la classe dell'elemento tecnico (in questo caso pareti perimetrali verticali) è necessario valutare le possibili soluzioni tradotte dai *modelli funzionali*.

Le pareti perimetrali verticali possono essere progettate secondo diversi criteri:

- parete isolata all'esterno
- parete ventilata
- parete ventilante
- isolamento interno
- parete isolata nell'intercapedine
- parete leggera
- parete omogenea
- parete trasparente

Per garantire una corretta progettazione dell'elemento tecnico è necessario compiere un ulteriore processo, ovvero quello di traduzione del modello funzionale in un'*alternativa tecnica conforme*. Essa è una sequenza ordinata di elementi e strati funzionali merceologicamente classificati (presenti sul mercato), tale da assicurare il corretto funzionamento di ogni singolo elemento o strato.

Nelle *alternative tecniche conformi* compaiono anche strati e gli elementi funzionali integrativi, sia dovuti al materiale scelto che ai problemi di collegamento e interazione tra gli strati funzionali primari.

Di seguito è riportata una citazione riguardante la definizione di progetto dell'architetto Cristopher Alexander tratta da 'Note sulla sintesi della forma' del 1964:

Il progetto, o il manufatto, deve rispondere a 'requisiti', 'esigenze' di ordine pratico-materiale, esplicitamente designate come funzionali e considerate determinanti per la concezione della forma, ben al di là dell'intenzionalità estetica.

Nel processo di progetto o di concezione della forma diventa centrale il ruolo delle scienze formali quali strumenti principali di concettualizzazione e di elaborazione cognitiva e produttivo - progettuale, mentre viene contestualmente svalutato il ricorso all'intuizione.

Il progetto è inteso come il risultato di progressive considerazione riguardo alle prestazioni che l'edificio deve offrire, ovvero progettare consiste nella definizione degli elementi tecnologici che, insieme, devono rispondere agli obiettivi prefissati.

La scomposizione tecnologica definita dalle norma UNI, ha il compito di comunicare i risultati di questo processo in maniera univoca.

Gli elementi che compongono il sistema tecnologico sono caratterizzati da un insieme di requisiti che rispondono alle esigenze funzionali dell'elemento stesso.

La progettazione degli elementi tecnici è quindi basata su un concatenazione di esigenze, requisiti e prestazioni.

> Le esigenze *sono il bisogno fondamentale di un individuo legato all'adempimento di una determinata attività.*

devono essere *rilevate*:

- da parte degli utilizzatori, attraverso la domanda di mercato
- da parte di osservatori specializzati nell'interpretazione delle tendenze culturali
- da parte di tecnici e progettisti specializzati

> I requisiti *sono ciò che, di necessità, si chiede per il normale svolgimento di una attività o di una funzione, ovvero, la trasposizione in termini tecnici di un bisogno.*

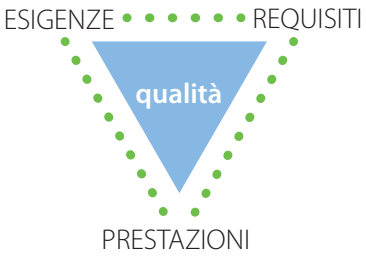
devono essere *espressi*:

- come trasposizione quantitativa delle esigenze
- in maniera scientifica e consona alle tecnologie disponibili

> Le prestazioni *sono:*
> *il servizio reso, lavoro fornito, funzionamento o comportamento che si verifica nello svolgimento di una determinata funzione*
>
> *(Tagliaventi 1988)*
>
> *Il comportamento di un elemento in determinate condizioni d'uso e di sollecitazione*
>
> *(Maggi 1984)*
>
> *Comportamento di un determinato componente o elemento edilizio all'atto dell'impiego; cioè in relazione ad un uso specifico*
>
> *(Zaffagnini 1981)*

devono essere *offerte*:

- da parte di chi produce il bene strumentale o il componente tecnico
- vanno contestualmente accettate e confrontate con i dati numerico-quantitativi da parte di chi ha espresso i requisiti come traduzione delle esigenze.



Il risultato ottenuto da questo trinomio è caratterizzato dalla sua qualità.

Secondo le norme UNI ISO 8402, la qualità è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite.

Quest'approccio basato sul *breakdown* tecnologico del sistema edilizio e di progettazione degli elementi in rapporto alle loro prestazioni, definisce il metodo progettuale *esigenziale-prestazionale*. Questo approccio consiste nel richiedere che un oggetto edilizio abbia un certo comportamento (prestazione) a prescindere dalla tecnologia con cui sarà realizzato.

Conseguentemente alla progettazione, è necessario descrivere univocamente l'oggetto edilizio in base alle sue caratteristiche tecnologiche, ovvero alle informazioni necessarie alla sua costruzione. Questo approccio è di tipo *oggettuale-descrittivo*.

In base a questi due approcci, la normativa si divide in due catergorie.

La normativa oggettuale-descrittiva

Essa definisce le caratteristiche (oggettuali) chimico, fisiche, meccaniche e geometrico-dimensionali dei materiali, semilavorati o componenti, attraverso prescrizioni normative che si articolano in:

1. norme di accettazione di materiali, semilavorati e/o componenti, con la descrizione delle qualità e caratteristiche oggettive degli stessi.
2. norme di esecuzione consistenti nella descrizione della corretta modalità di posa in opera, ovvero di realizzazione di sub-sistemi e sistemi edilizi ed impiantistici.
3. norme di controllo, consistenti nella descrizione dei metodi e tipi di controllo, da eseguirsi per la verifica delle proprietà richieste.

La normativa esigenziale-prestazionale

Essa definisce il comportamento in esercizio atteso della soluzione tecnologica, le cui caratteristiche devono soddisfare il sistema esigenziale atteso dall'utenza, prescrizioni normative che si articolano in:

1. requisiti, che costituiscono la richiesta rivolta ad un dato elemento edilizio affinché questo abbia determinate caratteristiche tali da soddisfare determinate esigenze, in condizioni d'uso prefissate ed in presenza di determinati fattori esterni.
2. specifiche di prestazione, che consistono nell'associare ad ogni requisito dei livelli di soddisfacimento, con parametri tecnico-scientifici, ovvero l'indicazione dei valori che devono essere assicurati e dei metodi di verifica o criteri di valutazione, attraverso procedure unificate di calcolo, prove sperimentali standardizzate in opera e/o in laboratorio, o criteri di giudizio univoci.

Il concepimento degli elementi tecnici che compongono il sistema tecnologico sfrutta il metodo esigenziale-prestazionale. La normativa vigente (UNI 11277:2008) descrive i requisiti minimi che un elemento tecnico deve essere in grado di soddisfare suddivisi in 3 classi di esigenza, composte da 18 esigenze ed, a loro volta, da 37 requisiti secondo uno schema articolato nelle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio.

tab. 6.48 - *Scomposizione dei requisiti (UNI 11227:2008)*

Classe di esigenza	Esigenza	Fase del ciclo di vita	Requisito
Salvaguardia dell'ambiente	Salvaguardia dell'ambiente	Fase produttiva fuori opera	Utilizzo di materiali, elementi e componenti a ridotto carico ambientale
		Fase produttiva in opera - Esecuzione	Gestione ecocompatibile del cantiere
		Fase produttiva in opera - Manutenzione	Riduzione degli impatti negativi nelle operazioni di manutenzione
		Fase produttiva in opera - Demolizione	Gestione ecocompatibile dei rifiuti
	Salvaguardia della salubrità dell'aria e del clima	Fase funzionale	Riduzione dell'emissione di inquinanti dell'aria climalteranti - gas serra
	Salvaguardia del ciclo dell'acqua	Fase funzionale	Massimizzazione della percentuale di superficie drenante
	Salvaguardia dell'integrità del suolo e del sottosuolo	Fase funzionale	Contenimento dell'area di sedime degli edifici
			Recupero ambientale del terreno di sbancamento
	Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici	Fase funzionale	Protezione delle specie vegetali di particolare valore e inserimento di nuove specie vegetali
			Tutela e valorizzazione della diversità biologica del contesto naturalistico
			Adeguato inserimento paesaggistico nel contesto, anche in relazione al rispetto delle visuali e alla compatibilità con la morfologia del terreno
Utilizzo razionale delle risorse	Utilizzo razionale delle risorse	Fase produttiva fuori opera	Utilizzo di materiali, elementi e componenti riciclati
			Utilizzo di materiali, elementi e componenti ad elevato potenziale di riciclabilità
		Fase produttiva in opera - Esecuzione	Utilizzo di tecniche costruttive che facilitino il disassemblaggio a fine vita
		Fase produttiva in opera - Manutenzione	Utilizzo di materiali, elementi e componenti caratterizzati da un'elevata durabilità
	Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti	Fase funzionale	Raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani
	Utilizzo razionale delle risorse idriche	Fase funzionale	Riduzione del consumo di acqua potabile
			Recupero, per usi compatibili, delle acque meteoriche
	Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche - requisiti geometrici e fisici	Fase funzionale	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il riscaldamento
			Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il raffrescamento e la ventilazione igienico-sanitaria
			Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per l'illuminazione
			Isolamento termico
			Inerzia termica per la climatizzazione
	Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche - requisito energetico	Fase funzionale	Riduzione del fabbisogno d'energia primaria e sostituzione di fonti energetiche da idrocarburi con fonti rinnovabili o assimilate
Benessere, igiene e salute dell'utente	Benessere termico degli spazi esterni	Fase funzionale	Riduzione di scambi termici radiativi tra persona e superfici circostanti in periodi di sovrariscaldamento
			Aumento di scambi termici radiativi in periodi di sottoriscaldamento
			Controllo degli effetti del vento dominante invernale
			Controllo degli effetti del vento dominante estivo
	Benessere termico degli spazi interni	Fase funzionale	Controllo adattivo delle condizioni di comfort termico
	Benessere visivo degli spazi esterni	Fase funzionale	Riduzione degli effetti di disturbo visivi
	Benessere visivo degli spazi interni	Fase funzionale	Illuminazione naturale
	Benessere acustico degli spazi esterni	Fase funzionale	Protezione degli spazi d'attività esterni da fonti di rumore esterne agli spazi stessi
	Benessere acustico degli spazi interni	Fase funzionale	Protezione degli spazi interni da fonti di rumore
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con le variazioni del campo elettromagnetico da fonti artificiali	Fase funzionale	Protezione degli ambienti e degli spazi esterni da variazioni del fondo elettromagnetico generato da fonti artificiali
			Impianto elettrico e disposizione degli elettrodomestici, in modo da esporre gli utenti a valori minimi di campo elettromagnetico
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria interna	Fase funzionale	Riduzione delle emissioni tossiche/nocive di materiali, elementi e componenti
			Riduzione delle concentrazioni di radon

6.5 MATERIALI ISOLANTI

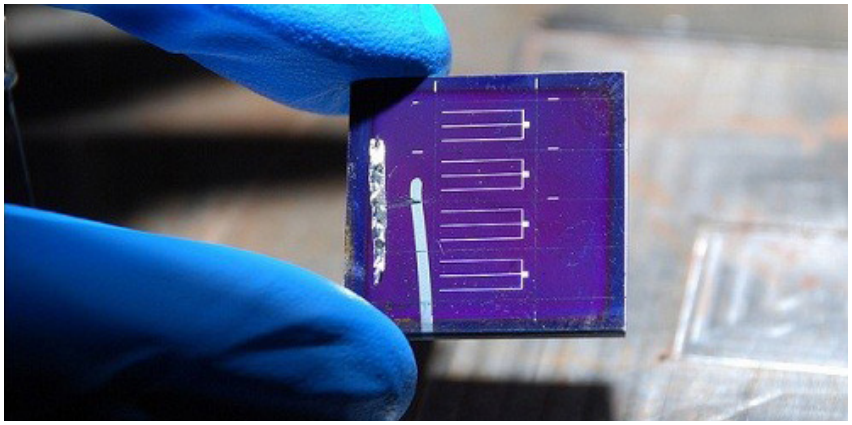


fig. 6.297 - *Fotovoltaico a film sottile, IBM*

All'interno degli edifici passiamo circa il 90% del nostro tempo. Abitare è un'attività complessa che si basa principalmente sulla ricerca di standard di benessere secondo diversi punti di vista.

Il benessere è uno stato complesso dalle forti connotazioni individuali che varia in funzione dell'attività che si sta svolgendo, dalle condizioni di salute, dall'età, etc. Esso è il risultato delle percezioni sensoriali di un individuo all'interno di un ambiente. Temperatura, umidità dell'aria, livello di rumorosità, luminosità presenti in un luogo, sono i fattori principali che influiscono sulle condizioni dell'abitare.

Costruire un ambiente sano, che sviluppi benessere, vuol dire prestare attenzione ai numerosi fattori che ne influenzano i parametri. Una verifica completa di queste condizioni deve essere presente durante le diverse fasi della costruzione e dell'uso di un edificio:

- nella progettazione, dalla distribuzione degli spazi alla scelta di materiali
- nella realizzazione, dalle modalità di posa all'esecuzione finale
- nella gestione dell'edificio, dalla fruizione occasionale alle abitudini consolidate

Un buon progetto deve analizzare e risolvere le complesse correlazioni che determinano la qualità generale e il benessere globale:

- i rapporti tra interno ed esterno dell'edificio
- il ciclo di vita dell'edificio
- il comfort termico e acustico
- la qualità dell'illuminazione naturale ed artificiale
- la presenza di inquinamento elettromagnetico sia naturale che derivato da impianti e apparecchi usati all'interno dell'edificio
- la composizione, le emissioni e le qualità dei singoli materiali e del loro assemblaggio (colle, adesivi, vernici, pitture, etc.)
- la qualità finiture e forniture
- le emissioni inquinanti derivanti dal tipo di attività svolta all'interno dell'edificio

La sensazione di benessere dipende dalle condizioni ambientali interne, e queste sono in gran parte prevedibili e pianificabili.

Parallelamente alla ricerca di benessere, la progettazione deve essere guidata dalla sostenibilità e quindi dall'uso di materiali '*verdi*', ovvero con un basso impatto ambientale durante tutto il loro ciclo di vita.

Allo scopo di controllare i flussi di scambio tra l'ambiente esterno ed interno, è necessario progettare il mezzo attraverso i quali essi avvengono.

La tecnologia stratificata a secco adottata per il progetto, consente di trarre il massimo vantaggio dal metodo prestazionale. Concentrandosi sulle specifiche caratteristiche di ogni singolo strato che compone gli elementi tecnici, è possibile raggiungere dei valori dei flussi mirati ed allo stesso tempo, mantenere la flessibilità necessaria alla scelta di

materiali eco-sostenibili. Questo processo incrementa anche la competizione di mercato tra i produttori di sistemi e materiali, spingendoli a ricercare prodotti e sistemi sempre più efficienti.

Per materiali isolanti sono intesi tutti i materiali che hanno come scopo il ritardo, la riduzione o l'annullamento dei flussi di scambio sia in rapporto con ambiente esterno che tra gli spazi interni.

Esistono due funzioni principali che essi devono svolgere, ovvero isolamento termico e isolamento acustico. Per ognuno di questo scopi esistono materiali più o meno idonei in funzione delle loro caratteristiche di conducibilità, calore specifico, resistenza a compressione, massa, permeabilità al vapore, grado di tossicità, costo di mercato e ambientale.

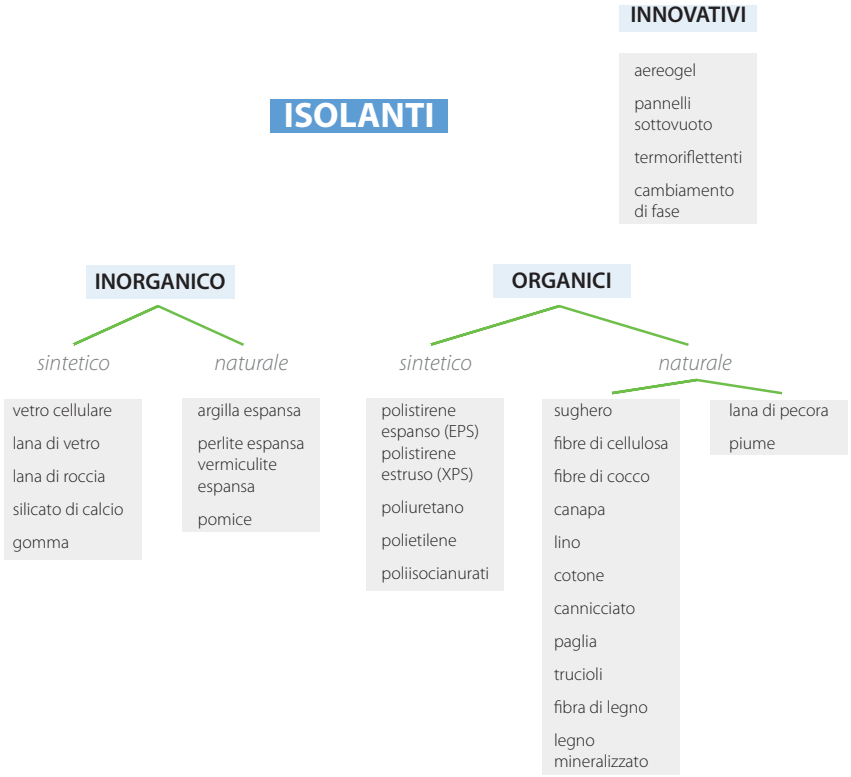


fig. 6.298 - *Tipologie di isolanti*

fig. 6.299 - *Comparazione tra sistema di isolamento a capotto e isolamento interno*

6.5.1 ISOLAMENTO TERMICO

Le azioni volte all'ottimizzazione energetica dell'edificio sono prevalentemente legate alla riduzione delle dispersioni attraverso l'uso di isolanti allo scopo di ottenere un comportamento passivo dell'edificio, poco influenzato dai cambiamenti delle condizioni esterne, di cui i valori attribuibili al benessere sono controllati dagli impianti (siano essi passivi o attivi) alimentati da fonti rinnovabili. La tecnologia di isolamento progettata per l'edificio è il sistema a cappotto.

La volontà di realizzare un solo strato di isolamento a cappotto attraverso il quale ridurre notevolmente il flusso termico senza la necessità di dover realizzare una sottostruttura per sorreggere ulteriori strati, è stato scelto l'utilizzo di pannelli in poiisocianurato (PIR) ad alte prestazioni.

Pannelli in poliisocianurato (PIR)

I pannelli di poliisocianurato (PIR) si presentano come una schiuma compatta, dura ed omogenea a struttura alveolare (celle chiuse) con prestazioni di termo-isolamento molto rilevanti (λ=0,021÷0,025 W/mK).

Il poliisocianurato è un materiale della stessa famiglia dei poliuretani. Differisce dal poliuretano nelle proporzioni di metilene difenil isocianato (MDI) che risultano superiori e nell'uso del poliestere-poliolo derivato, sostiutito al polietere poliolo.

Il processo di produzione di questo materiale è lungo e complesso.

Esso consiste in una reazione esotermica. La reazione di MDI e poliolo avviene a temperature superiori se comparate con quelle di produzione del poliuretano. Con la presenza di una specifico catalizzatore, MDI reagisce con se stesso producendo un composto isocianurato tri-isocianato. La restante MDI reagisce con questo composto creando urethane-isocyanurate che viene insufflato per creare la schiuma del poliisocianurato. Questo tipo di reazione non comporta scarti di alcun tipo.

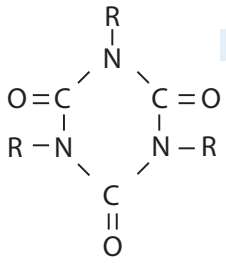
La struttura polimerica che ne risulta è in grado di garantire prestazioni di resistenza al fuoco e stabilità ad alte temperature di due volte superiori ai poliuretani.

Isocianato

R-N=C=O

T, catalizzatore

Isocianurato



6.5.2 ISOLAMENTO ACUSTICO

Quando un'onda acustica si propaga in un mezzo elastico una parte dell'energia che la accompagna viene assorbita dal mezzo a causa degli attriti interni. Quando poi incontra una superficie di discontinuità che segna il confine con un mezzo diverso solo una parte dell'energia incidente viene trasmessa, una quota parte viene invece riflessa.
In campo acustico si hanno due funzioni fondamentali che possono essere richieste ai materiali: fonoisolamento e fonoassorbimento.

> ***Fonoisolamento.*** si intende l'azione che ostacola la propagazione dell'onda sonora tra due ambienti.

Il concetto di materiale fonoisolante e strettamente connesso alla legge della massa. Il che significa che un materiale è tanto più fonoisolante quanto più elevato è il suo peso specifico. Ne consegue che sono buoni materiali fonoisolanti ad esempio il piombo, l'acciao, il marmo, il legno massiccio, il truciolare ad alta densita, il vetro etc.

Tuttavia al fine di evitare un'aumento di massa eccessivo dell'edificio, l'effetto del fonoisolamento è ottenuto in termini più efficaci e vantaggiosi attraverso la giustapposizione di materiali fonoisolanti e materiali fonoassorbenti in elementi tecnici in cui il meccanismo di dissipazione per massa viene sostituito con il sistema massa-molla-massa.

> ***Fonoassorbimento.*** è l'azione che tende ad attenuare la riflessione del onda sonora tramite dissipazioni.

L'assorbimento dell'energia sonora può essere effettuato attraverso diversi materiali e dispositivi. Si possono utilizzare essenzialmente riconoscere:

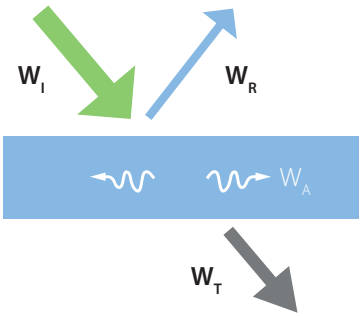
- materiali porosi
- pannelli vibranti
- risuonatori

I materiali fonoassorbenti vengono utilizzati per ridurre e correggere le caratteristiche dell'onda sonora soprattutto in termini di riverbero, ossia per modulare la sua velocità e qualità di risposta sonora.

La dissipazione dell'energia acustica per assorbimento può essere ottenuta: per porosità, per risonanza di membrana, per risonanza di cavità.

Assorbimento per porosità

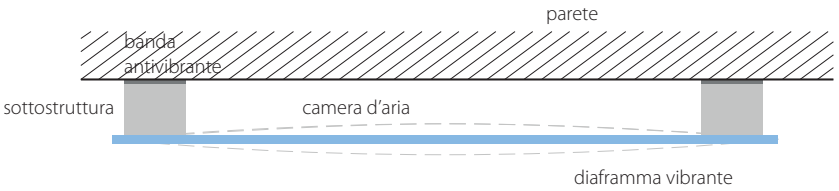
Il materiali in grado di assorbire l'energia sonora sono porosi ed a basso peso specifico. L'assorbimento è legato essenzialmente all'attrito che l'onda sonora incontra nell'attraversare la struttura porosa. L'aria contenuta nei pori del materiale viene messa in vibrazione dalle variazioni di pressione che accompagnano l'onda sonora e una parte dell'energia acustica viene quindi trasformata in calore a causa dell'attrito sulle pareti solide del materiale e per attrito viscoso nella massa d'aria.



W_I	energia acustica
W_R	energia riflessa
W_T	energia trasmessa
W_A	energia assorbita

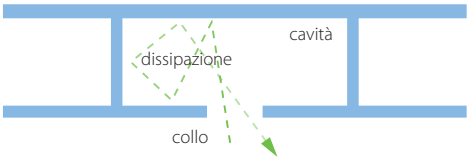
Risonanza di membrana

L'assorbimento dell'energia acustica avviene da parte di un diaframma semirigido connesso ad una parete tramite una sottostruttura. La connessione tra i due elementi avviene tramite del materiale che ne impedisce lo scambio di vibrazione. Con questo sistema, tra di essi si forma una camera d'aria e lo smorzamento dell'energia sonora si verifica tramite il sistema massa-aria-massa che aziona alla vibrazione del diaframma, smorzata dal cuscino d'aria retrostante.



Risonanza per cavità

L'assorbimento avviene per viscosità che si realizza all'imboccatura (collo) di un area cava all'interno del materiale, che pertanto si presenta forato o fessurato, tramite il principio di funzionamento del cosiddetto risuonatore di Helmoltz.



Pannelli in fibra di poliestere

I poliesteri sono una classe di polimeri ottenuti per polimerizzazione a stadi via condensazione che contengono il gruppo funzionale degli esteri lungo la catena carboniosa principale.

Per quanto i poliesteri esistano in natura (ad esempio la cutina), più spesso rappresentano una famiglia di prodotti sintetici (la plastica), che include il policarbonato e, soprattutto, il polietilene tereftalato, più comunemente noto come PET.

I poliesteri sono combustibili, ma, a causa dell'intrinseca termoplasticità, tendono a bruciare con una fiamma autoestinguente.

È un materiale dalle elevate caratteristiche prestazionali realizzato con fibre di poliestere ottenute dal riciclo delle bottiglie di plastica.

Le ottime performance del prodotto sia come assorbente acustico che come isolante termico, non rilascia polveri e si adatta anche a superfici dove sono presenti tubi e cavi elettrici. Totalmente riciclabile è un prodotto anallergico che non contiene sostanze nocive per la salute dell'uomo.

6.5.3 ISOLANTI ANTICALPESTIO

Con lo scopo di desolidarizzare il pacchetto soggetto al calpestio del solaio dal resto della struttura, è stata adottata una soluzione composta da due tipologie di materiale resiliente diversi, ottimizzandone la prestazione acustiche dell'elemento tecnico.

Pannelli in polietilene

Il polietene (più comunemente noto come polietilene) è il più semplice dei polimeri sintetici ed è la più comune fra le materie plastiche. Viene spesso indicato con la sigla PE. Ha formula chimica (-C2H4-)n dove n può arrivare fino ad alcuni milioni. Le catene possono essere di lunghezza variabile e più o meno ramificate.

Il polietilene è una resina termoplastica, si presenta come un solido trasparente (forma amorfa) o bianco (forma cristallina) con ottime proprietà isolanti e di stabilità chimica, è un materiale molto versatile ed una delle materie plastiche più economiche.

E' un materiale imputrescibile ed inattaccabile da muffe, insetti, batteri, mantiene inalterate nel tempo le proprietà acustiche e termiche, è resistente alla compressione ed è dotato di elevata resistenza alla rottura, allo strappo ed all'usura.

Al contrario di molti altri isolanti non contiene e non rilascia fibre ed è stabile a temperature comprese tra – 40 e +100°C.

Per quanto riguarda la posa in opera è facile da maneggiare e da tagliare ed in caso di smantellamento del solaio è riciclabile.

Essendo un materiale anallergico, non emette sostanze nocive né per l'uomo, né per l'ambiente e non contiene CFC (clorofluorocarburi).

Pannelli in lana di roccia ad alta densità

La lana di roccia è un silicato amorfo ricavato dalla roccia ed è un materiale molto versatile.

Questo materiale ha la capacità d'essere un buon isolante termico ed acustico, altamente drenante ed ignifugo.

Queste proprietà sono dovute alla sua struttura macroscopica lanuginosa che attenua i rumori, ed inglobando grandi quantità d'aria isola dal calore, inoltre riesce a resistere a temperature molto alte, grazie alla sua elevata resistenza al calore.

L'elemento desolidarizzante in lana di roccia è caratterizzato da un alto valore di comprimibilità ai carichi. Tale valore è ottenuto attraverso l'idoneo orientamento delle fibre nella struttura del pannello. La rigidità dinamica è la proprietà che determina le caratteristiche smorzanti del pannello. La posa in opera dei pannelli deve essere eseguita ponendo particolare attenzione all'accostamento dei pannelli stessi ed evitando la presenza di zone non coperte dal materiale isolante.

6.5.4 INERZIA TERMICA

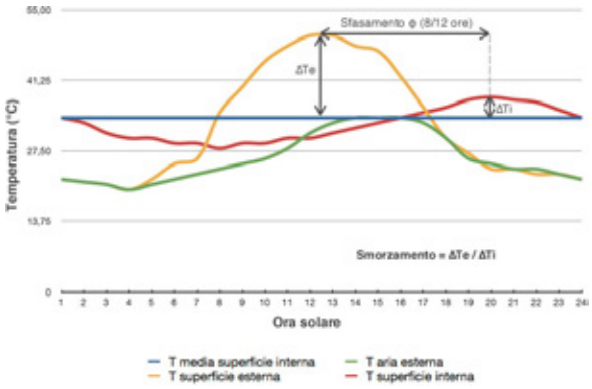
L'inerzia termica di una struttura consiste nella sua capacità di opporsi al passaggio del flusso di calore e di assorbirne una quota, senza rilasciarlo in maniera immediata e contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura interna.

L'inerzia termica può essere praticamente definita come l'effetto combinato dell'accumulo termico e della resistenza termica della struttura. Queste due caratteristiche dipendono dalla massa frontale della parete e dalla conduttività dei materiali che la costituiscono.

Essendo l'inerzia termica proporzionale al calore specifico dei materiali ed alla massa (riassumibili nella capacità termica) ed inversamente proporzionale alla conducibilità termica (o più in generale alla trasmittanza termica) e alla differenza di temperatura tra interno ed esterno la soluzione tecnica migliore da adottare per una stratigrafia è quindi scegliere un sistema dotato contemporaneamente di sufficiente massa e bassa conduttività senza prediligere soltanto una di queste caratteristiche. In particolare all'aumentare della capacità cresce la quantità di energia immagazzinata ed al diminuire della conduttività decresce anche la velocità con cui il calore viene ceduto.

La realizzazione di edifici che soddisfino un alto grado di inerzia termica fa sì che le variazioni di temperatura si registrino con un ritardo temporale più o meno accentuato mantenendo inalterate per più tempo le condizioni ambientali preesistenti senza dover far intervenire una fonte di climatizzazione con relativo consumo energetico per ristabilirle, cioè in maniera passiva.

Parallelamente allo sfasamento, si ottiene anche lo smorzamento dell'ampiezza onda termica agevolando l'impianto di condizionamento, che grazie alla combinazione di questi due fenomeni può essere ridotto.



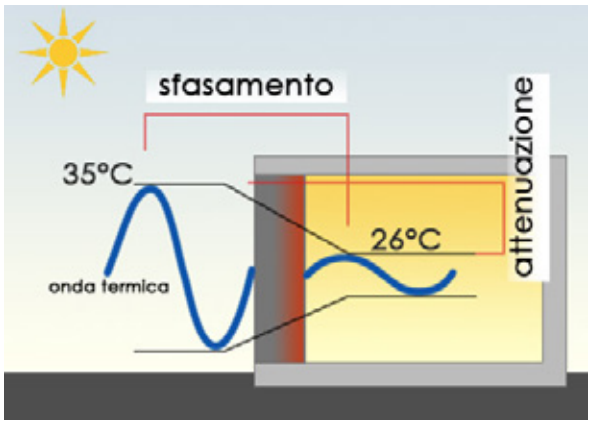


fig. 6.300 - *Esempio dello sfasamento delle temperature in un edificio*

L'utilizzo di un sistema costruttivo stratificato a secco necessita particolare attenzione nella progettazione dell'inerzia degli elementi di chiusura dell'edificio. Trattandosi di una tecnologia leggera, lo sfasamento definito dalla capacità termica degli elementi che costituiscono l'involucro è spesso molto basso, al fine di ottenere uno sfasamento vantaggioso in grado di mitigare le forti variazioni della temperatura esterna, è stato inserito all'interno delle chiusure verticali un pannello in lana di legno.

fig. 6.302 - *Pannello in lana di legno*

Di seguito sono riportati i risultati con e senza il pannello utilizzato.

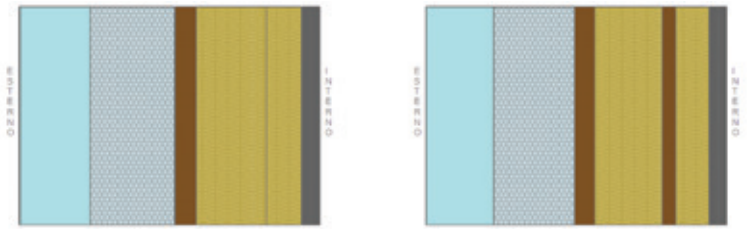


fig. 6.301 - *Stratigrafia delle pareti perimetrali con senza lana di legno (a sinistra) e con lana di legno (a destra)*

Chiusura verticale	**C.V.1**	**lana di legno**	**Senza lana di legno**
sp. totale	*S [m]*	0,45	0,4257
massa superficiale	*m [kg/m3]*	72,13	62,13
sfasamento	*φ [h]*	14h 54'	12
attenuazione	*fa*	0,058	0,109
trasmittanza	*U [W/m2k]*	0,099	0,102
trasmittanza Periodica	*Yie [W/m2k]*	0,00577	0,0111

Considerando la stratigrafia della chiusura verticale senza il pannello in lana di legno, seppur avendo raggiundo uno sfasamento accettabile, il livello di attenuazione risulta essere alto.

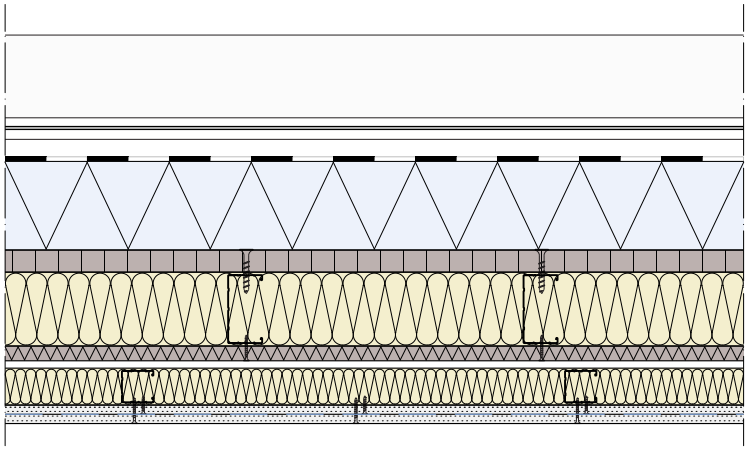
Per questo motivo si è adotatta la soluzione con il pannello in lana di legno.

C.V.01

chiusura verticale opaca

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. orizzontale - scala 1:10]

E



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	facciata ventilata
Finitura est.	pannelli in alluminio
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	Sud - Ovest - Nord
Numero strati	9
Resistenza termica (R)	10,06 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,099 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,00577 W/m^2K
Sfasamento	14h 54'
Attenuazione (f_a)	0,058
Massa superciale	72,13 kg/m^2
Spessore	50 cm
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. pannelli in alluminio ad alte prestazioni acustiche rivettati alla sottostruttura costituita da montanti a T in acciaio zincato
sp. 14 mm - dim. variabili

2 Tenuta all'acqua. telo in tessuto di polipropilene [PP] con elevata resistenza allo strappo, ermetico al vento e alla pioggia e permeabile al vapore
sp. 3mm - dim. 50000x1500 a rotolo - peso=145 g/m²

3 Isolamento. pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 120 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36 kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

4 Freno al vapore. foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

5 Supporto. pannelli OSB costituiti da scaglie di legno incollate con resina sintetica
sp. 30 mm - dim. 2440x1200 mm - ρ=650 kg/m³ - λ=0,13 W/mK - μ=30 - c=1700 J/kgK

6 Sottostruttura. profili montanti in magizink pressopiegati a freddo
C100x50 sp. 6/10 mm - passo 40 cm

7 Isolamento. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 100 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

8 Isolamento. pannelli in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza
sp. 20 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=500 kg/m³ - R=0,30 m2K/W - μ=5 - c=1810 J/kgK

9 Sottostruttura. profili montanti in alluminio pressopiegato a freddo
C50x50 sp. 6/10 mm - passo 60 cm

10 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 50 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

11 Protezione dal fuoco. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con accoppiata con barriera al vapore in micro lamina di alluminio
sp. 12,5 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m³ - λ=0,24W/mK - μ=7 - c=1452 J/kgK

12 Finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevato potere fonoisolante, stuccati e tinteggiati
sp. 12,5 mm - dim. 2400x625mm - ρ=1400 kg/m³ - λ=0,24 W/mK - μ=7 - c= 1452J/kgK

6.6 CHIUSURE VERTICALI

Le chiusure verticali esterne sono volte alla separazione tra l'ambiente interno e quello esterno con lo scopo di ottenere le condizioni necessarie allo svolgimento delle attività umane all'interno dell'edificio attraverso la regolazione dei flussi di materia e di energia.

Le pareti perimetrali di un edificio sono rappresentate dall'unità tecnologica che separa verticalmente lo spazio interno da quello esterno denominata *chiusura*.

Le chiusure verticali possono essere classificate secondo due classi di elementi tecnici:

pareti perimetrali verticali. classe di elemento tecnico che impedisce il passaggio di persone, animali e oggetti anche nei casi di choc meccanico. Controlla il passaggio di sostanza liquide e gassose e il passaggio di energia tra l'interno e l'esterno.

Infissi verticali. classe di elemento tecnico che controlla il passaggio di persone, animali, oggetti, sostanze liquide e gassose e il passaggio di energia fra l'interno e l'esterno.

La scelta della tipologia di parete da adottare è stata effettuata mediante la composizione di più strati funzionali che compongono un'alternativa tecnica conforme, in particolare si possono individuare sette famiglie funzionali:

- tenuta al vapore e all'acqua
- isolamento termico e acustico
- ventilazione e di diffusione del vapore
- rivestimento esterno ed interno
- resistenti
- collegamento e di regolarizzazione
- protezione al fuoco

6.6.1 FACCIATA VENTILATA

La facciata iper-isolata del Cigno è rientra all'interno della classificazione dei modelli funzionali come *parete isolata ventilata*.

La traduzione del modello funzionale in alternativa tecnica conforme (e quindi in soluzione tecnica) è stata effettuata mediante la progettazione degli strati funzionali che la compongono creando una *facciata ventilata*.

Di seguito è riportato lo schema di funzionamento di questa soluzione tecnica.

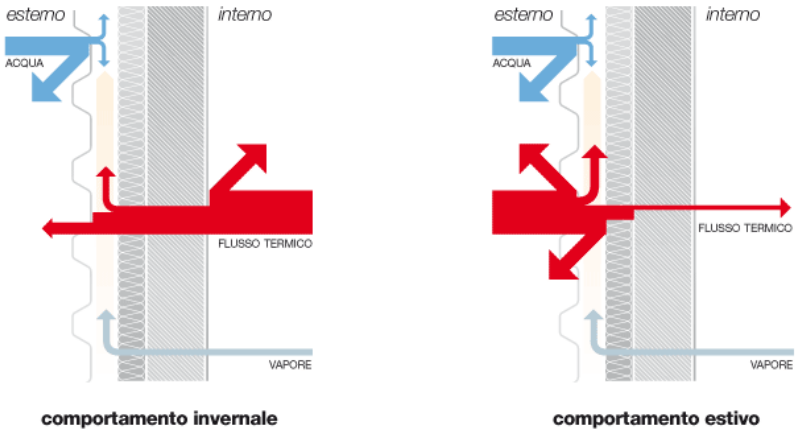


fig. 6.303 - *Schema di comportamento di una facciata ventilata*

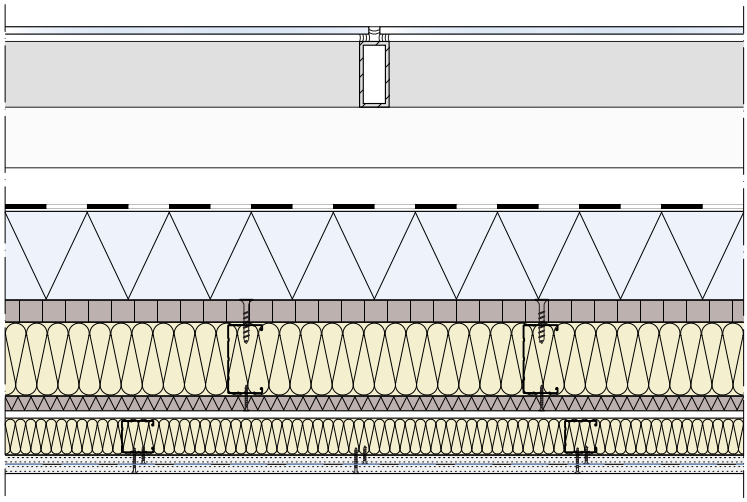
C.V.02

chiusura verticale

shell fotovoltaico

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. orizzontale - scala 1:10]

E



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	facciata ventilata
Finitura est.	vetri stratificati (fotovoltaici)
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	Sud - Est
Numero strati	9
Resistenza termica (R)	10,16 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,098 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,00563 W/m^2K
Sfasamento	15h 6'
Attenuazione (f_a)	0,057
Massa superciale	95,45 kg/m^2
Spessore	45 cm
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. pannelli stratificati in vetro colorato (con film fotovoltaico) incollati con silicone strutturale alla struttura montanti-traversi in acciaio zincato
sp. 5+5 mm - dim. variabili

2 Tenuta all'acqua. telo in tessuto di propilene [PP] con elevata resistenza allo strappo, ermetico al vento e alla pioggia e permeabile al vapore
sp.=3mm

3 Isolamento. pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 12 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36 kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

4 Freno al vapore. foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

5 Supporto. pannelli OSB costituiti da scaglie di legno incollate con resina sintetica
sp. 30 mm - dim. 2440x1200 mm - ρ=650 kg/m³ - λ=0,13 W/mK - μ=30 - c=1700 J/kgK

6 Sottostruttura. profili montanti in magizink pressopiegati a freddo
C100x50 sp. 6/10 mm - passo 40 cm

7 Isolamento. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 100 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

8 Inerzia termica. pannelli in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza
sp. 20 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=500 kg/m³ - R=0,30 m2K/W - μ=5 - c=1810 J/kgK

9 Sottostruttura. profili montanti in alluminio pressopiegati a freddo
C50x50 sp. 6/10 mm - passo 60 cm

10 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 50 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

11 Protezione dal fuoco. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con barriera al vapore in alluminio preaccoppiata
sp. 12,5 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m³ - λ=0,24W/mK, μ=7, c=1452 J/kgK

12 Finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevato potere fonoisolante, stuccati e tinteggiati
sp. 12,5 mm - dim. 2400x625mm - ρ=1400 kg/m³ - λ=0,24 W/mK - μ=7 - c= 1452J/kgK

La *facciata ventilata* è caratterizzata dalla presenza di un'intercapedine ventilata compresa fra lo strato di rivestimento esterno e l'isolante termico, che vengono fissati sullo strato resistente della parete, nel nostro caso costituito da *Oriented Strand Board*.

Mediante le bocche di ventilazione poste al piede della facciata e alla sua sommità si innesca il processo di ventilazione naturale (effetto camino) all'interno dell'intercapedine, grazie al flusso dell'aria dovuto al gradiente termico tra la temperatura dell'aria nella camera di ventilazione e quella esterna in ingresso.

Il movimento ascensionale dell'aria consente di eliminare rapidamente il vapore acqueo proveniente dall'interno, permettendo quindi il controllo delle condensazioni interstiziali, diminuendo la possibilità di fenomeni di condensa, ed eliminando gli effetti negativi dovuti alle eventuali penetrazioni di acqua.

In estate inoltre contribuisce ad un'effettiva riduzione della quantità di calore che entra nell'edificio, permettendo un notevole risparmio energetico derivante da un minor carico degli impianti di condizionamento.

L'edificio si compone di due tipologie differenti di facciata caratterizzate da due diverse tecnologie di finitura:

- pannelli in alluminio con giunto a scomparsa
- pannelli in vetro contenente un film sottile fotovoltaico

La localizzazione delle due diverse tipologie di finitura è stata effettuata mediante l'analisi di Solar Access dell'edificio. Le superfici maggiormente irraggiate, ovvero le facciate orientate a Sud-Est, hanno un'irraggiamento adeguato all'istallazione di un impianto fotovoltaico. Per questo motivo sono state rivestite con pannelli contenenti un film fotovoltaico. Allo scopo di annullare l'ombreggiamento, i pannelli sono portati a filo della struttura creando uno *'shell fotovoltaico'*.

La tecnologia adottata per sorreggere i pannelli è simile ad una facciata continua montanti-traversi. La sottostruttura è direttamente connessa tramite manicotti alla struttura in acciaio dell'edificio e (puntualmente) ai solai per evitare lo sbandamento dei montanti. Lo spazio che si crea tra l'isolamento e i pannelli è tale da garantire un'elevata ventilazione a favore dell'efficienza dei pannelli.

Questa scelta consente di aumentare la dimensione delle imbotti delle finestre, diminuendo la porzione di radiazione entrante negli appartamenti durante il periodo estivo ed, inoltre, consente di accomodare le velette esterne delle finestre che, all'occorrenza, fermano la radiazione solare; anch'esse sono connesse alla sottostruttura per evitare ponti termici.

Le restanti porzioni di edificio aventi un irraggiamento ridotto, sono rivestite da pannelli in alluminio che si connettono allo strato di supporto OSB posto dietro l'isolante tramite degli agganci puntuali. Questa soluzione consente un ventilazione più debole dell'isolamento e riduce le dimensioni delle imbotti, a favore dell'illuminazione naturale degli ambienti. Non essendo necessario schermare esternamente le finestre, è stato adottato un sistema di oscuramento interno, evitando problemi di ponti termici e nascondendone il cassonetto.

Il sistema di isolamento è costituito da pannelli in polyisocianurati incollati allo strato di supporto in OSB. L'elevato coefficiente di prestazione termica (λ=0,023 W/mk) consente di adottare un solo strato di isolamento da 12 cm che ne agevola il montaggio.

Con lo scopo di avere un edificio ermetico all'aria, l'isolamento è stato rivestito da un telo di tenuta all'aria.

In questo modo, gli unici ponti termici dell'edificio sono costituiti dagli agganci degli orizzontamenti alle strutture verticali. Per ridurre questo problema, sono state progettate delle travi in *Glass Reinforced Plastic* incastrate ai pilastri. L'analisi termica mostrata nel capitolo della certificazione energetica, mostra una notevole differenza di flusso uscente rispetto all'utilizzo di una struttura interamente in acciao.

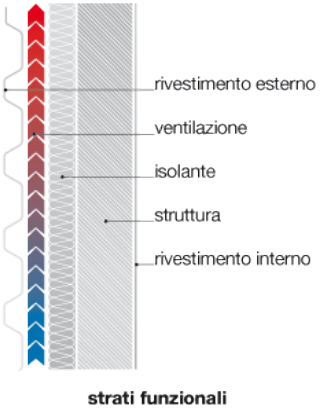
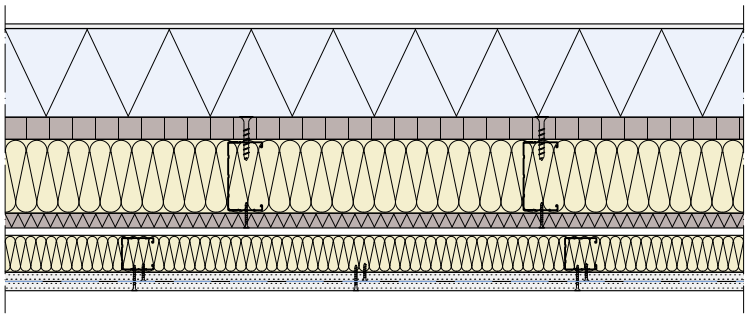


fig. 6.304 - *Composizione degli strati funzionali della soluzione tecnica Facciata Ventilata*

C.V.03
chiusura verticale opaca
serra bioclimatica

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. orizzontale - scala 1:10]

E



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	facciata serra bioclimatica
Finitura est.	rasatura d'intonaco
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	Sud
Numero strati	9
Resistenza termica (R)	10,072 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,099 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,00567 W/m^2K
Sfasamento	15h 12'
Attenuazione (f_a)	0,057
Massa superciale	70,72 kg/m^2
Spessore	35 cm
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 **Finitura.** rasatura d'intonaco e tinteggiatura
so. 0,5 mm - ρ=1200 kg/m³ - λ=0,35 W/mK - μ=10 - c=1000 J/kgK

2 **Isolamento.** pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 80 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36 kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

3 **Freno al vapore.** foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

4 **Supporto.** pannelli OSB costituito da scaglie di legno incollate con resina sintetica
sp. 30 mm - dim. 2440x1200 mm - ρ=650 kg/m³ - λ=0,13 W/mK - μ=30 - c=1700 J/kgK

5 **Sottostruttura.** profili montanti in magizink pressopiegati a freddo
C100x50 sp. 6/10 mm - passo 40 cm

6 **Isolamento.** pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 100 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

7 **Isolamento.** pannelli in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza
sp. 20 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=500 kg/m³ - R=0,30 m2K/W - μ=5 - c=1810 J/kgK

8 **Sottostruttura.** profili montanti in alluminio pressopiegato a freddo
C50x50 sp. 6/10 mm - passo 60 cm

9 **Isolamento acustico.** pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 50 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

10 **Protezione dal fuoco.** pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con accoppiata con barriera al vapore in micro lamina di alluminio
sp. 12,5 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m³ - λ=0,24W/mK, μ=7, c=1452 J/kgK

11 **Finitura.** pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevato potere fonoisolante, stuccati e tinteggiati
sp. 12,5 mm - dim. 2400x625mm - ρ=1400 kg/m³, λ=0,24 W/mK, μ=7, c= 1452J/kgK

6.6.2 INFISSI VERTICALI

I serramenti scelti per *Il Cigno* devono rispettare le prestazioni dell'involucro opaco adottato, ovvero sono composti da un triplo vetro basso emissivo selettivo.

Un vetro basso emissivo consente di ridurre gli scambi termici tra i vetri e ne migliora il fattore di trasmittanza (U_g). Questo effetto è ottenuto con un deposito magnetronico sul vetro costituito da un procedimento elettromagnetico di metalli nobili che di fatto riduce drasticamente la dispersione per scambio termico. Tali vetri offrono uno straordinario comfort interno grazie all'eliminazione dell'effetto parete fredda che si avverte in inverno avvicinandosi ad una finestra con un notevole risparmio.

Per selettivo invece si intende la capacità di riflettere fino al 60% dell'energia irradiata e della temperatura del sole. Indispensabile in estate per migliorare il comfort interno e abbassare drasticamente il fabbisogno per la climatizzazione.

Nelle intercapedini tra i vetri è stato utilizzato il gas kripton. In questo modo è stato possibile ottenere una trasmittanza del vetro (U_g) pari a 0,50 W/m^{2}k.

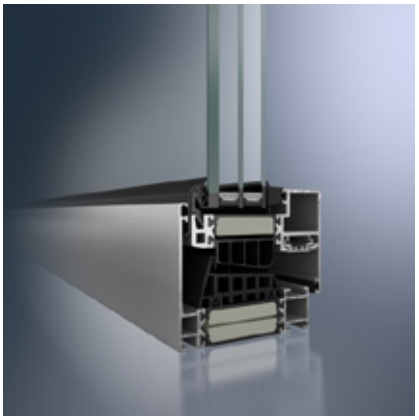


fig. 6.306 - *Serramento in alluminio al alte prestazioni termiche*

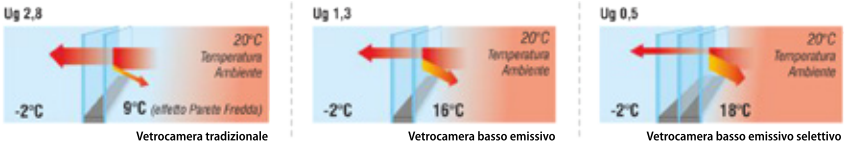


fig. 6.305 - *Comportamento dei vetri in inverno*

La porzione di finestra più debole al flusso termico è il telaio. Per questo è stato scelto un telaio ad alte prestazioni termiche in alluminio con taglio termico isolato e distanziatore isolante ottenendo una trasmittanza del telaio di U_f di 1,00 W/m^{2}k.

Le prestazioni della finestra composta da questi elementi arriva ad una trasmittanza (U_w) di 1,00 W/m^{2}k.

6.6.3 PARETE DELLA SERRA BIOCLIMATICA

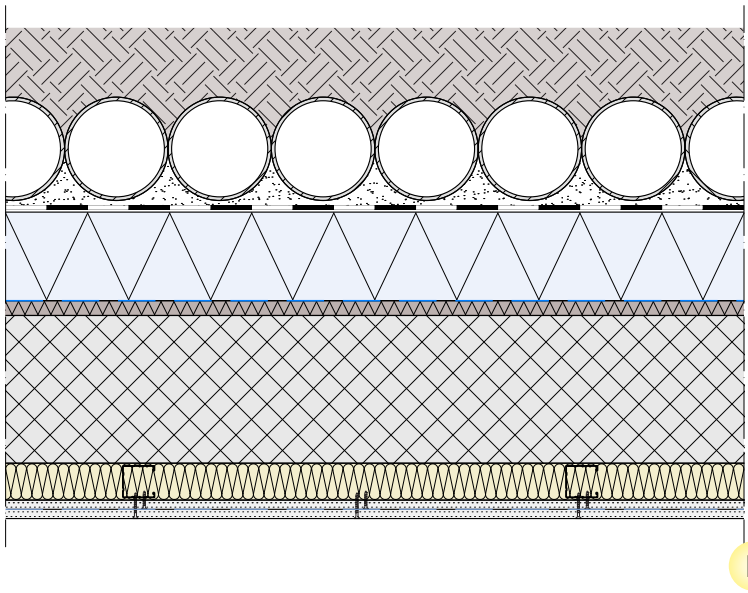
La parete interna della serra bioclimatica rientra all'interno della classificazione dei modelli funzionali come *parete isolata dall'esterno*.

Non essendo direttamente investita dalla radiazione solare estiva grazie alla presenta dei solai della serra, non è conveniente utilizzare una parete ventilata. Per questo si è deciso di utilizzare come finitura la rasatura del cappotto.

Non essendo un ambiente a diretto contatto con l'esterno, le prestazioni di questa parete sono inoltre state ridotte passando da 12 cm di isolante ad 8 cm. Una riduzione ulteriore avrebbe aumentato il flusso termico entrante in fase estiva. Infatti durante il periodo più caldo la serra è completamente aperte e questa parete è a diretto contatto con la temperatura dell'ambiente esterno.

C.V.04
chiusura verticale
controterra

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. orizzontale - scala 1:10]



CARATTERISTICHE

Tipologia	Parete controterra
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Numero strati	10
Resistenza termica (R)	7,35 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,136 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,00276 W/m^2K
Sfasamento	14h 54'
Attenuazione (f_a)	0,0203
Massa superciale	373,425 kg/m^2
Spessore	55 cm
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Contenimento. berlinese costituita da micropali in acciaio
Φ=12 mm - sp. 20 mm

2 Supporto. getto di livellamento in calcestruzzo
sp. 20 mm

3 Tenuta all'acqua. membrana a base di bitume elastomerico armata con uno strato in polietilene ad alta densità (HDPE)
sp. 1,5 mm - dim. 20000x1000 mm a rotolo - massa sup.=1,45 kg/m² - μ=2000

4 Isolamento. pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 12 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

5 Freno al vapore. foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

6 Cassero a perdere. pannelli in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza
sp. 30 mm - dim. 2000x600 mm - ρ=500 kg/m³ - R=0,45 m2K/W - μ=5 - c=1810 J/kgK

7 Struttura. calcestruzzo armato gettato in opera
sp. 20 mm - ρ=2500 kg/m³ - λ=0,70 W/mK - μ=34 - c=1000 J/kgK

8 Sottostruttura. profili montanti in alluminio pressopiegati a freddo
C50x50 ps. 6/10 mm - passo 60 cm

9 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 50 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

10 Supporto. pannelli in gesso rivestito ad alta densità accoppiata con barriera al vapore in micro lamina di alluminio
sp. 12,5 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m³ - λ=0,24W/mK - μ=7 - c=1452 J/kgK

11 Finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevato potere fonoisolante, stuccati e tinteggiati
sp. 12,5 mm - dim. 2400x625mm - ρ=1400 kg/m³ - λ=0,24 W/mK - μ=7 - c= 1452J/kgK

6.6.4 PARETI CONTROTERRA

fig. 6.307 - *Berlinese con pali in acciaio*

Data la prossimità degli edifici che circondano *Il Cigno*, non è consentito di eseguire uno scavo inclinato. Per questo motivo è stata progettata una berlinese in pali in acciaio che precede le opere di fondazione.

Le berlinesi sono strutture di sostegno di tipo flessibile, realizzate mediante cortine di micropali verticali. In funzione dell'altezza di terreno che sono chiamate a sostenere (o profondità di scavo di progetto) possono essere realizzate a sbalzo oppure ancorate.

Le berlinesi possono essere costruite secondo due differenti tipologie:

- spaziatura dei micropali relativamente ridotta (0,3-1,0 m) e armatura costituita da tubo o profilato ad H
- spaziatura dei micropali relativamente ampia (1,5-3.0 m), armatura con profilati ad H e integrazione per la parte emergente mediante lastre prefabbricate o tavole in legno inserite tra le ali dei profilati

Le principali fasi esecutive nella realizzazione della berlinese sono:

- perforazione del singolo micropalo fino alla profondità di progetto, con il sistema e l'attrezzatura più idonei al tipo di terreno da attraversare
- posa in opera dell'armatura
- riempimento del foro con miscela o malta cementizia, facendola rifluire a partire da fondo foro
- una volta completata l'esecuzione di tutti i micropali costituenti la berlinese, lo scavo a valle procederà per fasi, alternandosi alla realizzazione dei tiranti di ancoraggio previsti nel progetto e al rivestimento della parete, quando previsto

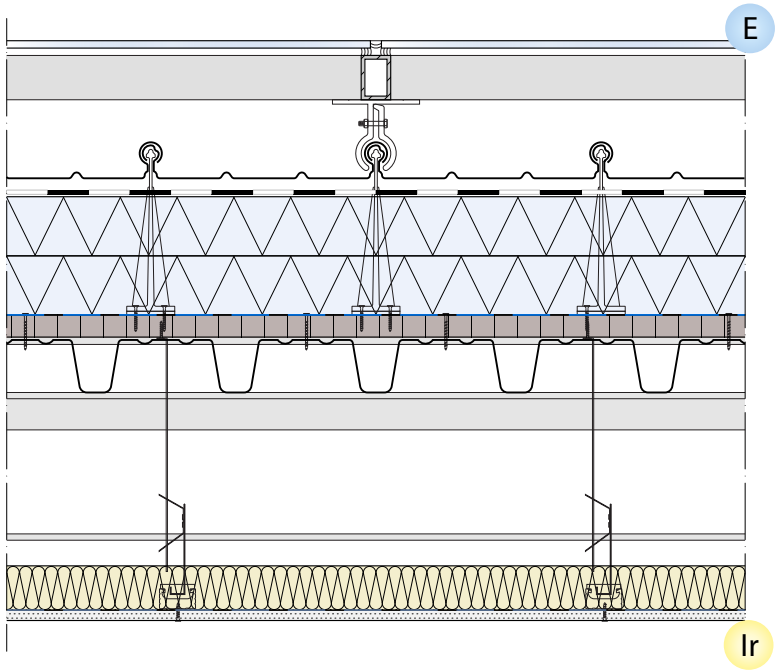
Uno volta applicato uno strato di calcestruzzo per livellare lo scavo, è stato ipotizzata la stesura di uno strato impermeabilizzante per evitare che l'isolante subisca infiltrazioni.

A seguito dello strato isoltante è stato inserito un pannello in lana di legno come cassero a perdere per il getto in calcestruzzo armato che costituisce la struttura dell'edificio.

Successivamente è stata progettata una controparete in cartongesso per consentire un rapido e semplice passaggio degli impianti elettrici secondo le necessita distributive della mediateca.

C.O.01
chiusura orizzontale
copertura fotovoltaica

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]



CARATTERISTICHE

Tipologia	copertura fotovoltaica
Finitura est.	vetri stratificati (fotovoltaici)
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	H
Numero strati	12
Resistenza termica (R)	9,367 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,11 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,0222 W/m^2K
Sfasamento	11h 03'
Attenuazione (f_a)	0,134
Massa superciale	81,61 kg/m^2
Spessore	30 cm + controsoffitto
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. pannelli stratificati in vetro colorato (con film fotovoltaico) incollati alla struttura montanti-traversi in acciaio zincato
sp. 5+5 mm - dim. variabili

2 intercapedine ventilata.
sp. 180 mm

3 Tenuta all'acqua. nastri di alluminio aggraffati
sp. 7/10mm - dim. 56/106/156 mm a rotolo - ρ=2700 kg/m³

4 Protezione. telo in tessuto di propilene [PP] a tre strati con elevata resistenza allo strappo, ermetico al vento e alla pioggia e permeabile al vapore
sp.=3mm

5 Isolamento. doppio strato di pannelli isolanti sandwich costituiti da schiuma di polyiso espansa
sp. 8+8 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

6 Freno al vapore. foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

7 Supporto. pannelli OSB in scaglie di legno incollate con resina sintetica
sp. 30 mm - dim. 2440x1200 mm - ρ=650 kg/m³ - λ=0,13 W/mK - μ=30 - c=1700 J/kgK

8 Struttura. lamiera grecata a secco in acciaio
sp. 0,7mm - H=75 mm - massa sup.=9,64 kg/m²

9 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 60 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

j Sottostruttura. orditura metallica non sovrapposta in acciaio zincato
C 50x27 - sp. 6/10 mm

11 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp.=60mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

12 Protezione dal fuoco e finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con microlamina in alluminio, stuccati e tinteggiati
sp. 15 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m³ - λ=0,24W/mK - μ=7 - c=1452 J/kgK

6.7 CHIUSURE ORIZZONTALE SUPERIORI

fig. 6.308 - *Sistema di aggancio dell'aggraffatura*

Le coperture sono unità tecnologiche costituite dall'insieme degli elementi tecnici orizzontali e suborizzontali aventi la funzione di individuare e delimitare spazi interni all'organismo edilizio, posti su differenti livelli.

Deve contribuire a produrre il microclima interno regolando:

- lo scambio termico
- i flussi di umidità
- i flussi luminosi e quelli sonori

Deve garantire condizioni di sicurezza proteggendo l'ambiente interno dagli agenti esterni.

Le due classi di elementi tecnici sono:

- le coperture
- gli infissi esterni orizzontali

Dal punto di vista funzionale la differenza sta nel fatto che, mentre le coperture impediscono il passaggio di cose, animali e oggetti, gli infissi lo permettono; entrambi invece controllano il passaggio di sostanze liquide e gassose, nonché il passaggio di energia termica.

Dal punto di vista morfologico le coperture si differenziano, in base alla loro continuità rispetto allo strato di tenuta all'acqua, in due sottoclassi: coperture continue e coperture discontinue. In generale le coperture discontinue presentano una pendenza tale da consentire il deflusso dell'acqua senza infiltrazioni nelle discontinuità. La pendenza minima ammissibile è funzione del materiale impiegato e delle condizioni ambientali. Le coperture continue permettono di adottare pendenze sensibilmente inferiori a causa del carattere stagno dello strato di tenuta.

Merceologicamente esistono sensibili differenze, le due sottoclassi generano inoltre modelli funzionali e rispettive alternative tecniche diverse.

6.7.1 COPERTURA ISOLATA ROVESCIA

Nel nostro caso è stata adottata come alternativa tecnica conforme una *copertura continua isolata rovescia* costituita da nastri aggraffati in alluminio accessibile per la sola manutenzione.

Il sistema per l'aggraffatura utilizzato è costituito da connettori in plastica connessi allo strato portante costituito da una lamiera grecata a secco.

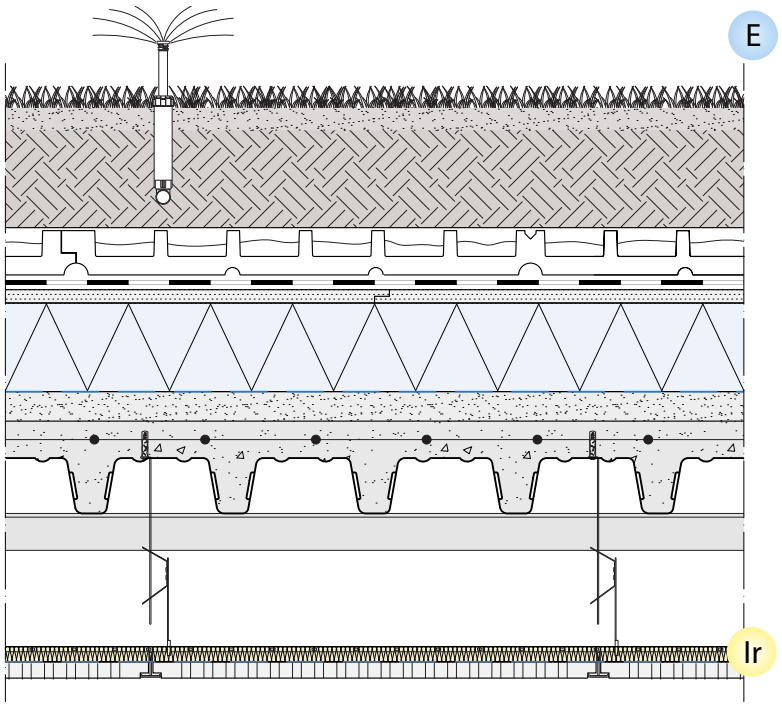
L'aggraffatura, inoltre, consente di sorreggere dei ganci accessori per la posa dei pannelli fotovoltaici che ricoprono l'intera superficie. In questo modo si ottiene un'intercapedine efficace alla ventilazione dei pannelli fotovoltaici ottimizzandone il rendimento.

Questo tipologia di modello funzionale, generalizzato in seguito alle leggi sul contenimento energetico, prevede l'inserimento di uno strato di isolamento termico tra l'elemento di tenuta e gli strati sottostanti. Al fine di ridurre la velocità del flusso di vapore è stato steso un freno al vapore al di sotto dell'isolante. Tra l'isolante e l'alluminio aggraffato è stato inoltre pensato uno telo in tessuto di propilene permeabile al vapore ed ermetico all'acqua per evitare che l'umidità non ristagni sulla faccia fredda dell'isolante.

Lo sfasamento termico della copertura non considera la presenta del fotovoltaico in copertura che scherma il manto di tenura all'acqua in alluminio aggraffato. Così come è stata trascurata l'intercapedine ventilata al di sotto dei pannelli fotovoltaici. Per questo motivo non sono state apportate migliorie di sfasamento termico alla stratigrafia.

C.O.02
chiusura orizzontale
copertura verde

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]



CARATTERISTICHE

Tipologia	copertura verde
Finitura est.	verde intensivo
Finitura int.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	H
Numero strati	10
Resistenza termica (R)	7,607 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,131 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,00161 W/m^2K
Sfasamento	23h 18'
Attenuazione (f_a)	0,0122
Massa superciale	368 kg/m^2
Spessore	50 cm + controsoffitto
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Coltura. terreno di coltura per verde a sviluppo intensivo
sp. 30 mm+150 mm - ρ=904kg/m³ - λ=0,8W/mK - μ=1- c=1840 J/kgK

2 Separazione. telo geotessile con fibre di polipropilene ragguagliato e termostabilizzato per separazione e filtraggio
sp. 1,45 mm - 2000x10000 mm a rotolo

3 Accumulo. vaschette in EPS per il drenaggio dell'acqua
sp. 62mm - dim. 1250x1000 mm - ρ=1025 kg/m³ - λ=0,034 W/mK - μ=∞ - c=1340 J/kgK

4 Tenuta all'acqua. membrana impermeabile antiradice a base di bitume distillato e polimeri elasto-plastomerici
sp. 4mm - dim.1000x10000 mm a rotolo

5 Ripartizione carichi. pannelli in gessobra costituiti da una miscela omogenea di gesso di alta qualità e fibra di cellulosa
sp. 23 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=1300 kg/m³ - λ=0,3 W/mK - μ=21 - c=2300 J/kgK

6 Isolamento. pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 12 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36 kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

7 Freno al vapore. foglio da due strati di prolipopilene (PP) resistente agli strappi ed uno strato di copolimero interposto
sp. 0,37 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - ρ=130 g/m²

8 Livellamento. sottofondo premiscelato alleggerito termo-acustico a base di perlite naturale espansa, cemento e additivi.
sp. 40 mm - ρ=380 kg/m³ - λ=1,529 W/mK - μ=7 - c=920 J/kgK

9 Struttura. solaio in lamiera grecata collaborante ad aderenza migliorata con rete elettrosaldanta (Φ6 - maglia 150x150 mm)
sp. 0,7mm - H lamiera=75 mm - H soletta=5 cm

10 Sottostruttura. orditura metallica non sovrapposta in acciaio zincato
C 50x27 - sp. 2,7 mm

11 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 20mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m³ - λ=0,038 W/mK, μ=2 - c=2405 J/kgK

12 Fonoassorbimento e finitura. pannelli di gesso naturale alleggerito ad elevato potere fonoisolante costituiti da solfato di calcio
sp. 22 mm - dim. 600x600mm - massa sup.=12,5 kg/m² - λ=0,15 W/mK

6.7.2 COPERTURA VERDE

l tetto verde è un particolare tipo di copertura piana continua. Questa soluzione garantisce l'equilibrio termico, in quanto trattiene nello strato di terra parte dell'acqua piovana che, evaporando lentamente impedisce l'eccessivo riscaldamento della copertura e contemporaneamente impedisce la fuoriuscita del calore del fabbricato nei mesi invernali. L'utilizzo negli edifici dei tetti verdi, in sostituzione dei componenti convenzionali dell'involucro, migliora in modo significativo le prestazioni energetiche ed ambientali dell'edificio. Questa soluzione, inoltre, contribuisce sensibilmente a ridurre le emissioni di CO2 (la vegetazione assorbe alcuni dei maggiori inquinanti emessi in atmosfera, quali ossidi di carbonio, azoto, zolfo, anidride solforosa) e a migliorare l'aspetto delle città. Ma tra le principali caratteristiche di valenza ambientale dei sistemi costruttivi a verde vi sono l'assorbimento acustico, e l'ottimizzazione idrica.

Il tetto verde infatti alleggerisce il carico sulla rete di canalizzazione delle acque bianche, rendendo percorribile la strada del riutilizzo delle acque piovane, previo recupero e filtrazione.

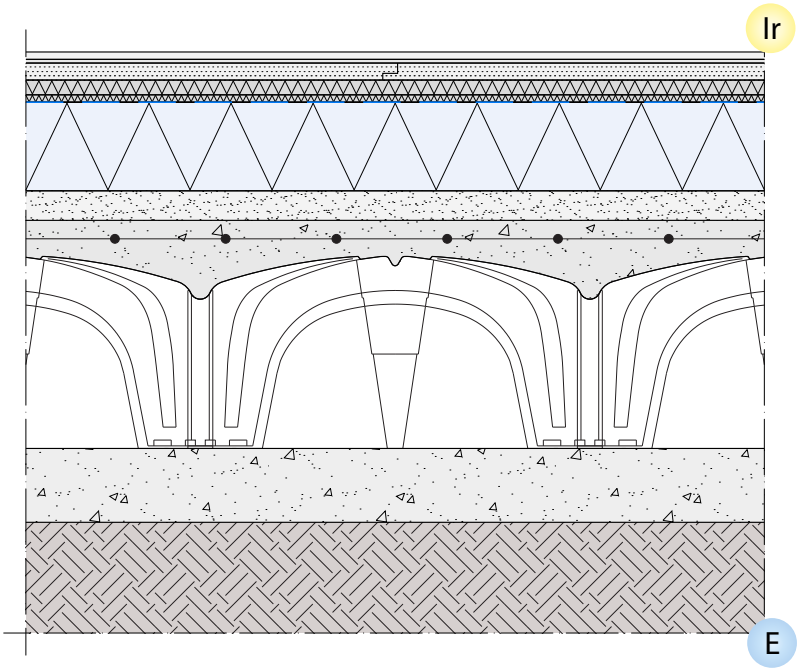
La scelta di questo soluzione tecnica è stata adottata allo scopo di mantenere il concetto di corte verde. Essendo la corte vissuta dai clienti del bar-letterario, vi è la necessita di introdurre una soluzione tecnica di copertura con elevate prestazioni acustiche.

Questa stratigrafia tecnologica è isolata, in quanto il terreno ha una trasmittanza molto variabile in funzione del quantitativo di acqua contenuto e difficilmente controllabile.

Inoltre il controsoffitto è realizzato da lastre di cartongesso fono-isolanti che sfruttano il meccanismo di risonanza per capillarità al fine di abbattere la dispersione delle onde sonore all'interno della mediateca.

C.O.03
chiusura orizzontale
controterra

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]



CARATTERISTICHE

Tipologia	solaio a terra
Finitura int.	gres porcellanato
Orientamento	H
Numero strati	9
Resistenza termica (R)	6,374 m^2K/W
Trasm. termica (U)	0,157 W/m^2K
Trasm. termica period. (Y_{ie})	0,0253 W/m^2K
Sfasamento	14h 24'
Attenuazione (f_a)	0,0161
Massa superciale	327 kg/m^2
Spessore	67,5 cm
Condensa interstiziale	inferiore al valore limite
Condensa superficiale	assente

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. pavimento in gres porcellanato incollato
sp. 10,5 mm - dim. 600x1200/60x60 mm - 47 kg/m²

2 Ripartizione carichi. pannelli in gessobra costituiti da una miscela omogenea di gesso di alta qualità e fibra di cellulosa
sp. 23 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=1300 kg/m³ - λ=2 W/mK - μ=2000 - c=2300 J/kgK

3 Anticalpestio. pannelli in polietilene (PE)
sp. 10 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=950 kg/m³ - λ=0,35 W/mK - μ=1 - c=2093 J/kgK

4 Anticalpestio. pannelli in lana di roccia ad alta densità non rivestiti
sp. 20mm - dim. 1000x600 mm - ρ=100 kg/m³ - λ=0,036 W/mK - μ=1 - c=1030 J/kgK

5 Barriera al vapore. due fogli di carta kraft e uno strato di paraffina armata con una rete di fibra di vetro e rivestita da un lato con un foglio in alluminio
sp. 0,26 mm - dim. 50000x1500 mm a rotolo - massa sup. = 130 g/m²

6 Isolamento. pannelli isolanti sandwich in schiuma di polyiso espansa
sp. 12 mm - dim. 1200x1200 mm - ρ=36 kg/m³ - λ=0,023 W/mK - μ=148 - c=1453 J/kgK

7 Livellamento. sottofondo premiscelato alleggerito termo-acustico a base di perlite naturale espansa, cemento e additivi
sp. 40 mm - ρ=380 kg/m³ - λ=1,529 W/mK - μ=7 - c=920 J/kgK

8 Struttura. vespaio aerato costituito da elementi in polipropilene (PP) e getto in calcestruzzo con rete elettrosaldata (Φ6 - maglia 150x150 mm)
H elemento=350 mm - dim. 580x580 mm - H soletta. 5 cm

9 Livellamento. getto in calcestruzzo povero (magrone).
sp. 100 mm

10 Terreno.

6.8 CHIUSURE ORIZZONTALI INFERIORI

6.8.1 SOLAIO CONTROTERRA

La chiusura orizzontale inferiore è un'unità tecnologica costituita dall'insieme degli elementi tecnici orizzontali e suborizzontali aventi la funzione essenziale di separare gli spazi interni dell'organismo edilizio dal terreno (solai a terra ed infissi orizzontali inferiori). Si distingue in pavimentazioni a terra (che appoggiano per esteso sul terreno) e solai a terra (elementi elastici che appoggiano su supporti per il sostegno al suolo).

La tenuta all'acqua è la funzione fondamentale, da assolvere tramite impermeabilizzazione e/o drenaggio del terreno. Possono essere interessati dalla presenza d'acqua in modo più o meno persistente: acqua piovana filtrante nel terreno con o senza battente idrico, vene d'acqua superficiali più o meno periodiche, acqua proveniente da falle in tubazioni idriche e fognarie, acqua in falda a variazione ciclica.

L'alternativa tecnica conforme adottata è il solaio a *terra semplice su suolo asciutto termoisolato*.

L'utilizzo di casseformi modulari a perdere in plastica riciclata funge da supporto al getto in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata. Questa soluzione crea delle cavità ventilate al di sotto del solaio, realizzando quindi un vespaio areato in grado di evitare l'accumulo e la penetrazione del gas radeon proveniente dal terreno.

La ventilazione avviene se le aperture vengono posizionate su fronti opposti con valori di temperatura e pressioni diversi (Sud-Nord).

La composizione del solaio prevede l'utilizzo di pannelli isolanti capaci di sopportare i carichi di esercizio dell'edificio. Inoltre è stato previsto un sistema di desolidarizzazione del solaio composta da uno strato di polietilene da 1 cm accoppiato a pannelli di lana di roccia ad alta densità da 2 cm.

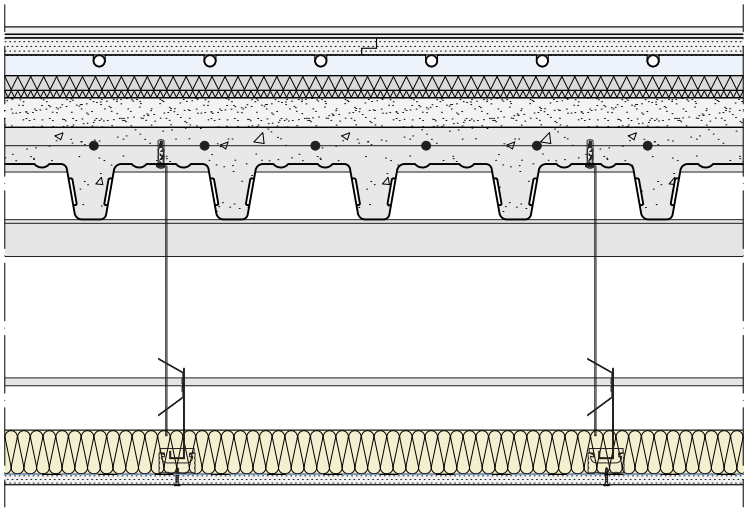
Sopra di essi è stato progettato uno strato di ripartizione dei carichi in gessofibra al fine di evitare punzonamenti sull'isolante.

La pavimentazione prevista è realizzata tramite incollaggio direttamente sopra lo strato di gessofibra e cosiste in un pavimento in gres porcellanato.

P.O.01
partizione orizzontale
residenza-residenza

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]

Ir



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	solaio interpiano
Finitura sup.	gres porcellanato
Finitura inf.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	H
Numero strati	9
Massa superciale	320 kg/m^2
Spessore	21,3 cm + controsoffitto

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. piastrelle in gres porcellanato incollato
sp. 10,5 mm - dim. 600x1200/60x60 mm - 47 kg/m^2

2 Ripartizione carichi. pannelli in gessobra costituiti da una miscela omogenea di gesso di alta qualità e fibra di cellulosa
sp. 23 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=1300 kg/m^3 - λ=2 W/mK - μ=2000 - c=2300 J/kgK

3 Climatizzazione. pannello presagomato in polistirene espanso, accoppiato ad incastro con un profilo termoconduttore costituito da una lamina di alluminio
sp. 28 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=30 kg/m^3 - λ=0,034 W/mK

4 Anticalpestio. pannelli in polietilene (PE)
sp. 10 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=950 kg/m^3 - λ=0,35 W/mK - μ=1 - c=2093 J/kgK

5 Anticalpestio. pannelli in lana di roccia ad alta densità non rivestiti
sp. 20mm - dim. 1000x600 mm - ρ=100 kg/m^3 - λ=0,036 W/mK - μ=1 c=1030 J/kgK

f Livallamento. sottofondo premiscelato alleggerito termo-acustico a base di perlite naturale espansa, cemento e additivi.
sp. 40 mm - ρ=380 kg/m^3 - λ=1,529 W/mK - μ=7 - c=920 J/kgK

7 Struttura. solaio in lamiera grecata collaborante ad aderenza migliorata con rete elettrosaldanta (Φ6 - maglia 150x150 mm)
sp. 0,7mm - H lamiera=75 mm - H soletta=5 cm

8 Sottostruttura. orditura metallica non sovrapposta in acciaio zincato
C 50x27 - sp. 2,7 mm

9 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 60mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m^3 - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

10 Protezione dal fuoco e finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con microlamina in alluminio, stuccati e tinteggiati
sp. 15 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m^3 - λ=0,24W/mK - μ=7 - c=1452 J/kgK

6.9 PARTIZIONI

Per partizione interna si identificano tutti gli elementi di fabbrica che hanno il compito di suddividere lo spazio in ambienti diversi con le stesse caratteristiche di temperatura.
Esse si suddividono in:

- orizzontali: insieme degli elementi tecnici orizzontali del sistema edilizio aventi funzione di dividere ed articolare gli spazi interni del sistema edilizio stesso
- verticali: Insieme degli elementi tecnici verticali del sistema edilizio aventi funzione di dividere ed articolare gli spazi interni del sistema edilizio stesso
- inclinate: insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio con giacitura prossima all'orizzontale aventi funzione di articolare gli spazi interni connessi del sistema edilizio stesso, collegando spazi posti a quote diverse

fig. 6.309 - *Esempio di pavimento in gres porcellanato*

6.9.1 PARTIZIONI INTERNE ORIZZONTALI

Solaio interpiano delle residenze (P.O.01)

Gli orizzontamenti interpiano hanno il principale compito di isolare acusticamente i due ambienti confinanti dai rumori aerei e dovuti al calpestio.

La tecnologia costruttiva adottata per la struttura dei solai è la lamiera grecata con getto in calcestruzzo collaborante armato con rete elettrosaldata.

Questa tipologia di struttura ha una rapidità di montaggio molto vantaggiosa rispetto ai sistemi tradizionali ed offre al contempo l'inerzia necessaria a gestire le escursioni termiche degli ambienti, così come offrono una massa resistiva alle vibrazioni dovute dal calpestio (non sufficiente per una buona prestazione di isolamento acustico). Inoltre, grazie alla realizzazione di una cappa di calcestruzzo superiore ai 4 cm, questa è considerabile un diaframma rigido alle spinte parallele al piano, evitando l'utilizzo di controventi di piano.

La particolarità del solaio è l'inserimento di due tipologie diverse di isolamento acustico a calpestio, costituite da 1 cm di polietilene sovrapposto a 2 cm di pannelli in lana di roccia ad alta densità. Questa soluzione consente un comfort acustico tra appartamenti adeguato.

L'impianto di distribuzione di tubi radianti è ospitato da pannelli in polistirene ad alta densità grecati che riflettono il calore verso l'ambiente da riscaldare.

La tipologia di finitura è un elemento fondamentale per la buona riuscita di un progetto. Per gli appartamenti è stata progettata una pavimentazione composta da piastrelli in gres porcellanato.

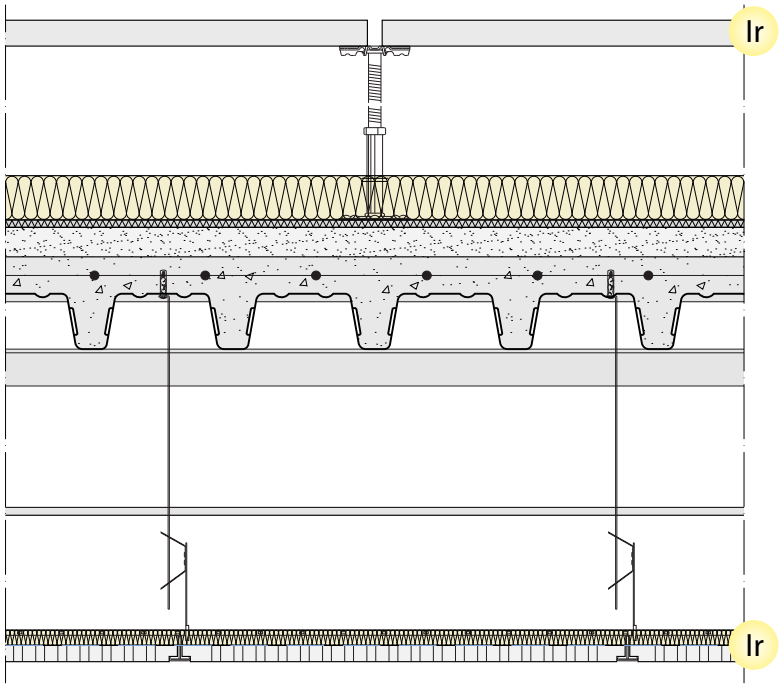
La distribuzione degli impianti per la ventilazione forzata è ospitata all'interno dell'intercapedine creata dal controsoffitto, il quale è stato attrezzato con pannelli in poliestere riciclato per aumentare ulteriormente l'attenuazione delle onde sonore e garantire quindi un elevato potere fonoisolante della stratificazione tecnologica.

P.O.02

partizione orizzontale

mediateca PT

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]



CARATTERISTICHE

Tipologia	solaio piano terra
Finitura sup.	pannelli
Finitura inf.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	H
Numero strati	9
Massa superciale	320 kg/m^2
Spessore	21,3 cm + controsoffitto

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. pavimento sopraelevato
h. 50 mm

2 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 50mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m^3 - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

3 Anticalpestio. pannelli in polietilene (PE)
sp. 10 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=950 kg/m^3 - λ=0,35 W/mK - μ=1 - c=2093 J/kgK

4 Anticalpestio. pannelli in lana di roccia ad alta densità non rivestiti
sp. 20mm - dim. 1000x600 mm - ρ=100 kg/m^3 - λ=0,036 W/mK - μ=1 - c=1030 J/kgK

5 Livellamento. sottofondo premiscelato alleggerito termo-acustico a base di perlite naturale espansa, cemento e additivi.
sp. 40 mm - ρ=380 kg/m^3 - λ=1,529 W/mK - μ=7 - c=920 J/kgK

6 Struttura. solaio in lamiera grecata collaborante ad aderenza migliorata con rete elettrosaldanta (Φ6 - maglia 150x150 mm)
sp. 0,7mm - H lamiera=75 mm - H soletta=5 cm

7 Sottostruttura. orditura metallica non sovrapposta in acciaio zincato
C 50x27 - sp. 2,7 mm

8 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 20mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m^3 - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

9 Fonoassorbimento e finitura. pannelli di gesso naturale alleggerito ad elevato potere fonoisolante costituiti da solfato di calcio
sp. 22 mm - dim. 600x600mm - massa sup.=12,5 kg/m^2 - λ=0,15 W/mK

Solaio al piano terra della mediateca (P.O.03)

L'adozione di un solaio sopraelevato al piano terra, consente una semplice distribuzione dell'impianto elettrico, raggiungendo i totem (infopoint) senza dover creare tracce all'interno del solaio. Inoltre, questa tipologia di soluzione tecnica offrendo un'ottima flessibilità, consentendo ai totem di essere riposizionati e quindi di variare il layout in funzione delle necessità.

Solaio ai piani interrati (P.O.03)

La soluzione tecnica adottata per questa tipologia di solai differisce dai precedenti in una diversa ricerca di flessibilità dell'impianto elettrico.

Se prima l'impianto elettrico si modificava in funzione delle necessità di layout della zona relativa all'*informazione e all'attualità*, ai piani interrati è l'arredo che muta in funzione delle disponibilità di approvvigionamento elettrico. Infatti, sono state previste delle canaline a vista coperte da uno strato di vetro di sicurezza calpestabile inserite all'interno del getto di completamento in calcestruzzo.

Le tracce segnano il pavimento in maniera irregolare ed ad intervalli irregolari, spuntano dei terminali integrati all'arredo ai quali è possibile collegarsi alla rete elettrica.

I controsoffitti dei piani interrati sono ad elevate prestazioni acustiche, ovvero sono composti di pannelli microforati che smorzano la diffuzione sonora per capillarità come descritto precedentemente.

Il vano creato al di sopra di questo ospita l'impianto di distribuzione dell'aria utilizzata come riscaldamento/raffrescamento.

6.9.2 PARTIZIONI INTERNE VERTICALI

Le pareti interne hanno come funzione principale quella di delimitare gli spazi interni in relazione alle attività da svolgere all'interno agli ambienti confinati. Le partizioni interne possono avere più gradi di flessibilità in funzione della tecnica costruttiva adottata per la loro costruzione. I divisori interni devono controllare diversi fenomeni, tra cui: fenomeni acustici (isolamento e riverberazione), ottici (visibilità e riflessione luminosa), termici (isolamento e inerzia termica), igrotermici (condensazione), idrodinamici (tenuta all'acqua, capillarità), gassosi (odori), elettromagnetici (raggi X e altre radiazioni), chimici (emanazione sostanze chimiche) e pirici (tenuta e isolamento al fuoco).

Nel nostro caso in particolare, la volontà di realizzare ambienti con elevate prestazioni di isolamento acustico e che non influenzassero inerzialmente il funzionamento dell'impianti, ci ha guidato alla scelta di pareti leggere le quali sono caratterizzate da un comportamento smorzante massa-molla-massa al contrario dei tradizionali tamponamenti in laterizio i quali riducono l'onda sonora attraverso un comportamento massivo. Un altro vantaggio offerto dalle parete leggere è l'attrezzabilità. Esse possono essere facilmente bucate attraverso l'ausilio di seghe a tazza ed attrezzate mediante il passaggio dei cavi o tubi all'interno dell'isolante termico morbido.

Uno svantaggio di queste pareti invece è la necessità di rinforzare l'intelaiatura delle pareti in presenza di elementi di arredo particolari (ad esempio i sanitari).

Si affronta, adesso il discorso sui criteri operativi ed economici:

Costruibilità. Le pareti intelaiate sono realizzate da montatori specializzati con la seguente sequenza operativa: montaggio del telaio e di una lastra, predisposizione impianti, isolamento, seconde lastre, realizzazione giunti e finitura a giunti asciutti.

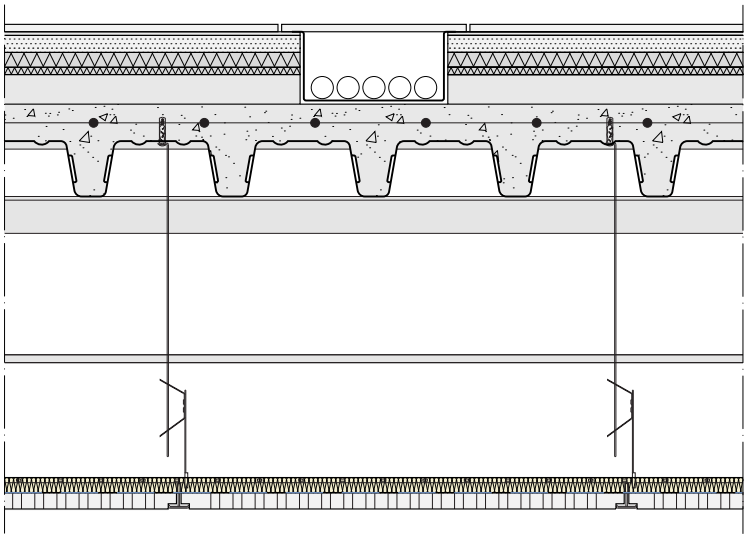
Tempi. i tempi vanno considerati tenendo conto degli intervalli necessari fra le diverse lavorazioni e vede, per una coppia di addetti, realizzare 16 mq al giorno per pareti leggere.

Manutenibilità. le soluzioni intelaiate hanno durabilità gerarchizzata per finitura e lastre.

P.O.03
partizione orizzontale
mediateca P-1

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. verticale - scala 1:10]

Ir



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	solaio piano -1
Finitura sup.	gres procellanato
Finitura inf.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	H
Numero strati	9
Massa superciale	320 kg/m^2
Spessore	23,8 cm + controsoffitto

STRATIFICAZIONE

1 Finitura. piastrelle in gres porcellanato incollato
sp. 10,5 mm - dim. 600x1200/60x60 mm - 47 kg/m^2

2 Ripartizione carichi. pannelli in gessobra costituiti da una miscela omogenea di gesso di alta qualità e fibra di cellulosa
sp. 23 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=1300 kg/m^3 - λ=2 W/mK - μ=2000 - c=2300 J/kgK

3 Anticalpestio. pannelli in polietilene (PE)
sp. 10 mm - dim. 1500x500 mm - ρ=950 kg/m^3 - λ=0,35 W/mK - μ=1 - c=2093 J/kgK

4 Anticalpestio. pannelli in lana di roccia ad alta densità non rivestiti
sp. 20mm - dim. 1000x600 mm - ρ=100 kg/m^3 - λ=0,036 W/mK - μ=1 c=1030 J/kgK

e Livallamento. sottofondo premiscelato alleggerito termo-acustico a base di perlite naturale espansa, cemento e additivi.
sp. 40 mm - ρ=380 kg/m^3 - λ=1,529 W/mK - μ=7 - c=920 J/kgK

6 Struttura. solaio in lamiera grecata collaborante ad aderenza migliorata con rete elettrosaldanta (Φ6 - maglia 150x150 mm)
sp. 0,7mm - H lamiera=75 mm - H soletta=5 cm

7 Sottostruttura. orditura metallica non sovrapposta in acciaio zincato
C 50x27 - sp. 2,7 mm

8 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuta dal riciclo delle bottiglie di plastica
sp. 60mm - dim.1200x600mm - ρ=40 kg/m^3 - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

9 Fonoassorbimento e finitura. pannelli di gesso naturale alleggerito ad elevato potere fonoisolante costituiti da solfato di calcio
sp. 22 mm - dim. 600x600mm - massa sup.=12,5 kg/m^2 - λ=0,15 W/mK

Costi. il criterio di calcolo dei costi è molto complesso ma sinteticamente si può affermare che il costo globale (ovvero quello che comprende anche la manutenzione) è approssimativamente uguale ai sistemi in muratura.

L'organismo edilizio che si progetta deve garantire un determinato benessere acustico ai fruitori dell'opera. Bisogna, quindi, controllare le sorgenti di rumore sia interne che esterne in modo da determinare situazioni acustiche ambientali favorevoli allo svolgimento delle attività per le quali l'opera è stata pensata e realizzata. Dapprima, dunque, è necessario individuare i requisiti acustici dei vari ambienti ed i relativi livelli di prestazione.

L'acustica è un nuovo settore della fisica ed in notevole espansione; diverrà molto importante data anche l'attuale legge quadro sull'inquinamento acustico. Questa, seppure giunta con circa quindici anni di ritardo rispetto ad altri paesi europei, è abbastanza completa: prevede la divisione di ogni Comune in sei parti (classi di destinazione d'uso del territorio), distinte per livelli massimi di decibel sia diurni che notturni.

		Val. limiti assoluti di immissione [dB]		*Val. limiti assoluti di emissione [dB]*	
		06-22	*22-06*	*06-22*	*22-06*
I	*aree partic. protette*	*50*	*40*	*45*	*35*
II	*aree preval. residenziali*	*55*	*50*	*50*	*40*
III	*aree di tipo misto*	*60*	*50*	*55*	*45*
IV	*aree di intensa attività umana*	*65*	*55*	*60*	*50*
V	*aree preval. industriali*	*70*	*60*	*65*	*55*
VI	*aree esclus. industriali*	*70*	*70*	*65*	*65*

1dB=10 log10 (P/P0)

dove la pressione di riferimento P0=20 x 10-6 Pa

Una sorgente è disturbante se ha un incremento, da quando è spenta, di 5 dB di giorno o 3 dB di notte.

Le modalità di propagazione dell'energia sonora si distinguono in relazione alla via di propagazione:

- per via aerea, nel caso in cui le onde sonore, direttamente o attraverso pareti divisorie, si trasmettono dalla sorgente all'ascoltatore
- per via strutturale, nel caso in cui le onde sonore che raggiungono l'ascoltatore, sono generate da urti e vibrazioni prodotte sulle strutture dell'edificio in cui si trova l'ambiente disturbato.

Isolamento acustico di una parete

Bisogna parlare di assorbimento acustico nel caso in cui si opera per attenuare i rumori aerei prodotti nel locale stesso. Dato che non si può intervenire sul rumore diretto, per diminuire il livello sonoro totale si deve ridurre l'energia riflessa delle pareti di confine. Si ottiene questo risultato aumentando l'aria equivalente di assorbimento acustico e questo si ottiene installando il materiale fonoassorbente sulle pareti di confine. E' importante notare come, poiché il coefficiente di assorbimento acustico apparente del materiale fonoassorbente varia con la frequenza del suono incidente, anche il valore della attenuazione sarà in funzione della frequenza. Nelle situazioni normali si possono ottenere attenuazioni massime di 7-8 dB.

Si parla, invece, di potere fonoisolante ed isolamento acustico nel caso di isolamento dai rumori aerei provenienti dall'esterno degli ambienti disturbati. La grandezza relativa alle proprietà isolanti di una struttura è il potere fonoisolante (R) della parete stessa, definito dalla relazione seguente

R = 10 log10 1/t

dove t è il coefficiente di trasmissione della parete.

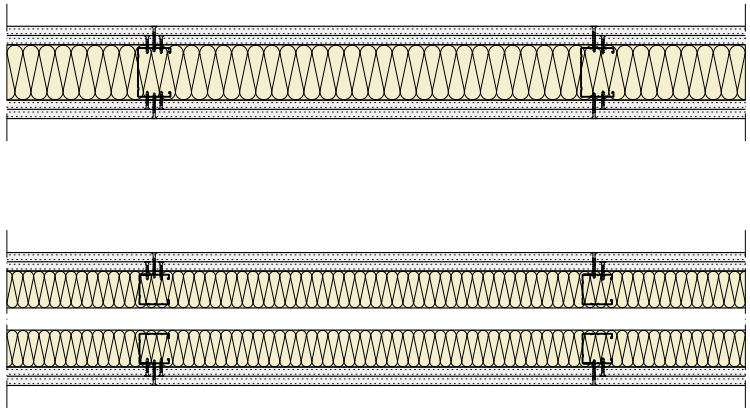
P.V.01-02

partizione verticale

divisorio interno

SISTEMA TECNOLOGICO [sez. orizzontale - scala 1:10]

Ir



Ir

CARATTERISTICHE

Tipologia	divisorio interno
Finitura sup.	cartongesso tinteggiato
Finitura inf.	cartongesso tinteggiato
Orientamento	V
Numero strati	7 ÷ 8
Massa superciale	43 ÷ 50 kg/m^2
Spessore	15 ÷ 17,5 cm
Fonoisolamento	Rw'=56 ÷ 65 dB

STRATIFICAZIONE

1 Sottostruttura. profili montanti in alluminio pressopiegato a freddo

C75x50 sp. 6/10 mm - passo 60 cm ÷ C50x50 sp. 6/10 mm

2 Isolamento acustico. pannelli in fibra di poliestere ottenuti dal riciclo delle bottiglie di plastica

sp. 75 ÷ 50 mm - dim. 1200x600 mm - ρ=40 kg/m^3 - λ=0,038 W/mK - μ=2 - c=2405 J/kgK

3 Protezione dal fuoco. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevata resistenza al fuoco con accoppiata con barriera al vapore in micro lamina di alluminio

sp. 12,5 mm - dim. 2500x600 mm - ρ=1020 kg/m^3 - λ=0,24W/mK, μ=7 - c=1452 J/kgK

4 Finitura. pannelli in gesso rivestito ad alta densità ed elevato potere fonoisolante, stuccati e tinteggiati

sp. 12,5 mm - dim. 2400x625mm - ρ=1400 kg/m^3, λ=0,24 W/mK - μ=7 - c= 1452J/kgK

Si evidenzia che R varia con la frequenza, con l'angolo di incidenza e con le proprietà geometriche e fisiche della parete. La determinazione sperimentale di R di una parete divisoria, noti i livelli di pressione sonora medi nell'ambiente disturbante L1 e nell'ambiente ricevente L2, si ottiene dall'espressione:

R = L1 - L2 + 10 log S/A, in cui S è la superficie del divisorio (mq) ed A è l'aria equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente (mq).

Di estrema importanza è l'indice di valutazione, una completa rappresentazione utilizzata per una descrizione dettagliata del comportamento acustico della parete in esame. Si possono così classificare le curve del potere fonoisolante Rw, dell'isolamento acustico normalizzato Dnw ed anche del livello di calpestio Lnw.

L'isolamento acustico normalizzato Dn è definito, nella norma UNI 8270/4, dalla relazione: Dn = L1 - L2 + 10 log10 (A/A0), dove A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente (mq) e A0 è l'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento, pari a 10 mq.

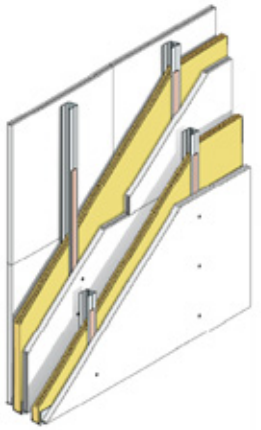


fig. 6.310 - *Esempio di una parete in cartongesso ad elevato potere fonoisolante*

E' intuitivo che, se la parete presenta aperture (porte e/o finestre), il potere fonoisolante complessivo si riduce notevolmente. la relazione che consente di calcolare il potere fonoisolante complessivo R diventa più complicata, infatti:

$$R = -10 \log [1/5 \; S \; Si \; 10(Ri/10)].$$

Nel campo delle prestazioni acustiche dei divisori, importante è la legge di massa:

$$R0 = 20 \log10 \; s + 20 \log10 \; f - 42.5 \; ,$$

dove s è la densità superficiale (kg/mq) della parete omogenea, f è la frequenza del campo acustico ed R0 il potere fonoisolante per onde piane ad incidenza normale. Questa legge è utilizzabile in un ristretto intervallo delle frequenze centrali del campo: 100 - 3150 Hertz. Per pareti in muratura costituiti da mattoni pieni o forati e per valori di s compresi tra 50 e 400 kg/m2 vale la relazione: Rw = 20 log10 s.

Nella proposta di revisione della ISO 717/1 (relativa alla valutazione del potere fonoisolante dei divisori) sono introdotti, accanto all'indice di valutazione Rw, due termini correttivi: C relativo ad un rumore rosa (pink) e Ctr relativo al rumore del traffico; nei confronti di questi due rumori l'indice di valutazione del potere fonoisolante di una parete sarà dato dalle relazioni:

$$Rpink = Rw + C$$
$$Rtr = Rw + Ctr$$

Si fa presente che quando la sorgente che si vuole isolare è la voce umana può essere utile valutare la prestazione acustica della parete attraverso la perdita di intelligibilità del messaggio sonoro che viene trasmesso. Si tenga conto, inoltre, che le vocali hanno bassa frequenza mentre le consonanti alte frequenze e che le pareti isolano meglio le alte frequenze. Quindi valori di Rw superiori ai 47 dB possono assicurare una sufficiente riservatezza.

La partizioni scelte per la separazioni degli ambienti interni hanno valori di abbattimento acustico (R'w) pari a 70 dB, molto superiore ai minimi richiesti dalla legge (50 dB).

CALCOLO STRUTTURALE

reticolo spaziale

capitolo 07

fig. 7.311 - *Passerella ciclo pedonale realizzata con profili pultrusi (frazione Cà Bianca - Chioggia)*

7.1 IL CONCEPT STRUTTURALE

Tra le prerogative di progetto, vi è stata sin dall'inizio della progettazione la volontà di innovare il concetto di struttura applicato al sistema S/R nel campo dell'architettura sostenibile. Il sistema costruttivo struttura/rivestimento è convenzionalmente rappresentato dall'assemblaggio di in involucro esterno ed uno interno tra i quali è disposta la struttura (e gli impianti).

Questo sistema, seppure molto efficiente, ottimizza l'uso della struttura dal punto di vista energetico, ma ne limita l'uso formale ed, alcune volte, tecnologico.

Il sistema S/R iperisolato, spesso è costituito da una struttura diffusa all'interno dei due involucri che definisce linearmente un indebolimento del potere isolante dell'edificio. Portando all'esterno la struttura verticale, si elimina questo comportamento, ma allo stesso tempo si introduce il problema dei ponti termici puntuali causati dai nodi tra la struttura verticale e gli orizzontamenti.

A partire dagli anni '70, l'esigenza di sviluppare un'architettura sostenibile in grado di armonizzare il rapporto *'funzione-uomo-natura'* ha portato alla teorizzazione, sperimentazione e realizzazione di architetture caratterizzate dall'isolamento e controllo delle perturbazioni esterne oltre che dall'uso di materiali sempre meno impattanti sull'ambiente. Questo risultato (in continuo miglioramento) è stato possibile grazie alla minimizzazione dei ponti termici degli edifici, spesso derivanti da una cattiva progettazione tra gli involucri e le strutture.

L'introduzione di nuovi materiali, software e tecnologie con il tempo può cambiare questa visione pressoché passiva dell'edificio, progettando sistemi dinamici in grado di cambiare la loro funzione durante le fasi dell'edificio (giorno-notte, stagioni, etc.).

Rincorrendo questa visione e grazie alla volontà di innovare e mettere in discussione i sistemi presenti sul mercato, insieme alla disponibilità di nuove tecnologie e materiali, è stato possibile concepire *Il Cigno* come un edificio a basso consumo energetico ed innovativo sia nelle forme che nei contenuti.

Seppure presentando una struttura fredda (esterna), l'uso di materiali compositi (glass reinforced plastic - GRP) per la realizzazione delle travature di connessione tra la struttura verticale e gli orizzontamenti, ha reso possibile il raggiungimento degli standard energetici richiesti dalla *direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD)* grazie alle loro caratteristiche di conduzione.

A seguito di queste considerazioni, il resto della struttura (pilastri e travatura) è stato pensato per essere realizzato in acciaio, avvalendosi del concorrenziale prezzo di mercato e della relativa velocità e semplificazione del cantiere; per quanto riguarda gli orizzontamenti, invece, si è preferito adottare il sistema composito acciaio-calcestruzzo attraverso l'utilizzo di lamiere grecata ad aderenza migliorata, allo scopo di ottenere un solaio inerziale termicamente e acusticamente confortevole trattandosi di ambienti particolarmente suscettibili al problema dell'acustica (residenze-biblioteca).

Lo schema di funzionamento della struttura è complesso, infatti essa reagisce interamente nella distribuzione dei pesi propri, così come per la ridistribuzione delle forze orizzontali (sisma-vento).

L'edificio è diviso in due strutture indipendenti.

blocco A. volume con una forma in pianta ad L di altezza massima pari a 21,16 m ed impronta a terra di 380 mq

blocco B. volume di dimensioni contenute la cui funzione è quella di ospitare i piccoli e piccolissimi di altezza massima 5 m ed impronta a terra146 mq

Entrambi i blocchi fuoriterra si appoggiano ad una struttura in calcestruzzo armato interrata per 3 piani che delimita i due blocchi interrati:

blocco C. volume a forma in pianta irregolare di 500 mq

blocco D. volume a forma in pianta trapezoidale di 218 mq

La particolare conformazione dell'edificio, ha richiesto un approfondimento strutturale della porzione di edificio fuoriterra allo scopo di ottenere un'omogeneità tra gli aspetti

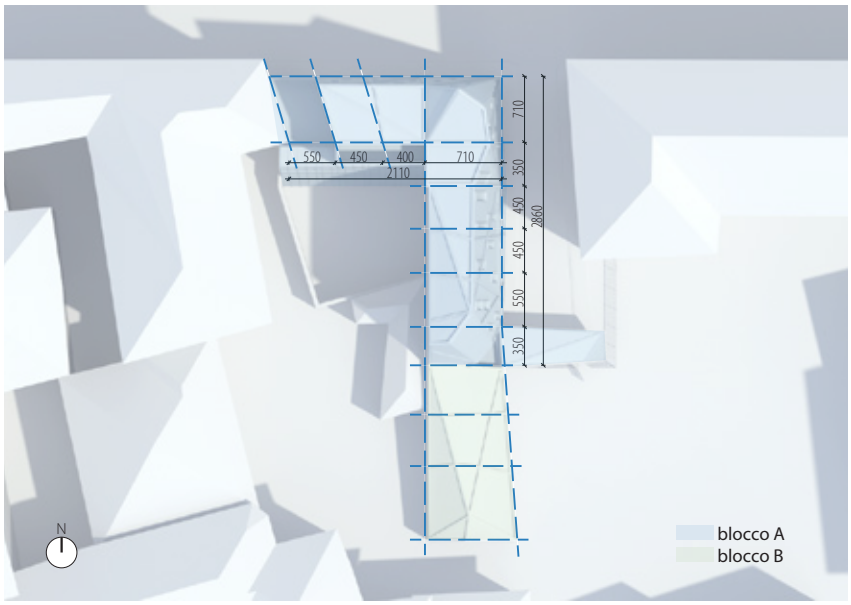
formali/architettonici e quelli funzionali essendo la struttura parte integrante del concept architettonico.

Di seguito sono descritti gli step attraverso i quali si è generata la struttura analizzata e verificata, ovvero la struttura del *blocco A*.

7.1.1 GRIGLIA STRUTTURALE

Il lotto di progetto ha una conformazione ad L di dimensioni 23,50x27 m che dividono l'edificio in due porzioni perpendicolari tra loro. Ad ovest, l'edificio di progetto è adiacente ad un edificio pre-esistente e la linea di contatto tra i due è inclinata rispetto allo sviluppo della facciata Nord di 18,41°. Questa condizione, insieme ai vincoli imposti dalla normativa, non consente una suddivisione della griglia strutturale in assi perpendicolari tra loro. Le ipotesi di partenza considerano una razionalizzazione della struttura attribuendone un passo variabile dei pilastri diretti verso la corte. La distanza tra gli assi strutturali rispetta un moduli suddivisibili in segmenti da 50 cm e le loro dimensioni variano da un massimo di 550 cm ad un minimo di 350.

Questa geometria ha permesso di creare un'unica struttura orientata trasversalmente ai fronti dell'edificio, consentendo una distribuzione in pianta priva di vincoli strutturali.



A partire da questa conformazione della maglia strutturale, i pilastri rivolti verso via Palermo e verso Est sono stati inclinati senza discostarsi troppo dalla configurazione razionalizzata. In questo modo, a seguito di verifiche spiegate successivamente, è stato possibile ottenere travi di bordo di ugual sezione ad ogni piano, indipendentemente dalla loro luce.

Per questa ragione la maglia strutturale è stata abbandonata, non rispettando le linee mediane delle strutture ad ogni piano oltre che non poter essere utilizzate per i tracciamenti.

Il montaggio della struttura esterna avverrà tramite la misurazione GPS di ogni punto di contatto con gli orizzontamenti che dovrà rispettare determinate coordinate note attraverso l'analisi del modello tridimensionale dell'edificio oppure utilizzando le coordinate polari di ogni pilastro.

fig. 7.312 - *Sumatra building Hamburg Designed by Erick van Egeraat*

7.1.2 SOLUZIONE D'ANGOLO

La geometria dell'angolo e la volontà architettonica di sospendere l'edificio al fine di creare un visione libera e priva di strutture è il movente che ci ha portato a pensare la struttura come un reticolo strutturale.

Soluzione 1. Adottando un sistema strutturale intelaiato, la presenza del vano scale (localizzato nel secondo modulo Est a partire da Nord) avrebbe richiesto l'utilizzo di travi a sbalzo per sorreggere gli impalcati e la copertura delle residenze. Considerato il carico e la luce dello sbalzo (7,10 m), le travi avrebbero dovuto avere un dimensione notevole e sproporzionata rispetto al resto della struttura, negandone l'ottimizzazione e limitando la possibilità di inserire finestre lungo i fronti d'angolo.

Soluzione 2. L'ipotesi considerata è stata quella di sfruttare il vano scale (considerato come elemento di rigidezza notevolmente superiore rispetto al resto della struttura) per ancorare una seconda maglia di travi a sbalzo allo scopo di supportare le prime. Anche questa soluzione richiedeva un dimensionamento sproporzionato del vano scale al fine di resistere alla forza di ribaltamento dovuta al carico a sbalzo.

Soluzione adottata. La soluzione adottata prevede di unire le due ipotesi precedenti insieme al concetto di controvento creando un reticolo strutturale in grado di reagire interamente agli sforzi dovuti allo sbalzo dell'angolo. Inoltre, per collaborare alle sollecitazioni dell'angolo, sono stati progettati due tiranti che sostengono il vertice dell'angolo, sul quale si imposta un pilastro che si divide all'inizio del taglio vetrato fino a raggiungere la copertura.

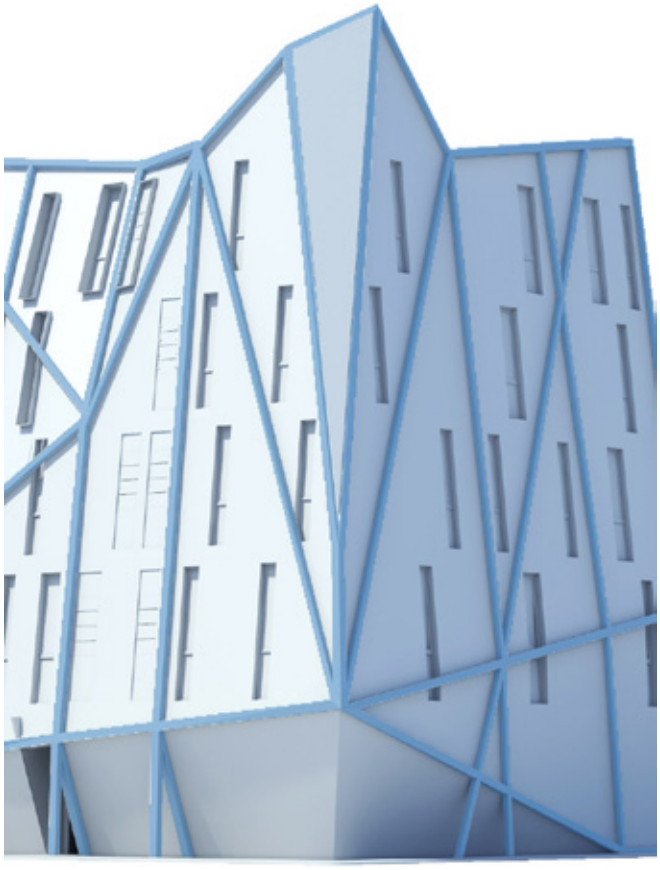


fig. 7.313 - *Soluzione d'angolo strutturale del Cigno*

7.1.3 SISTEMA DI CONTROVENTO

La struttura di un edificio deve essere in grado di sopportare sia il peso proprio, che i sovraccarichi e le spinte orizzontali dovute al vento o da un evento sismico. Allo scopo di ricondurre alle fondazioni questo tipo di sollecitazioni sono disponibili diverse teorie e tecnologie.

Sintetizzando il comportamento strutturale di un edificio ad una scatola è possibile affrontare il problema strutturale attraverso un'analisi statica secondo la teoria di *scienza delle costruzioni*.

Esistono diverse tipologie di sistemi controventanti resistenti alle azioni orizzontali.

Strutture intelaiate

Sono strutture prevalentemente composte da telai in grado di resistere alle sollecitazioni con un comportamento flessionale. Le zone dissipative di queste strutture sono principalmente collocate alle estremità delle travi in prossimità delle connessioni trave-colonna. In questi punti si possono formare delle cerniere plastiche e l'energia viene dissipata per mezzo della flessionale ciclica.

Questa tipologia strutturale prevede un dimensionamento delle membrature considerando principalmente la gerarchia delle resistenze. Con lo scopo di conseguire un comportamento duttile, i telai devono essere progettati in modo che le cerniere plastiche si formino nelle travi piuttosto che nelle colonne, tranne che per le sezioni delle colonne alla base ed alla sommità dei telai.

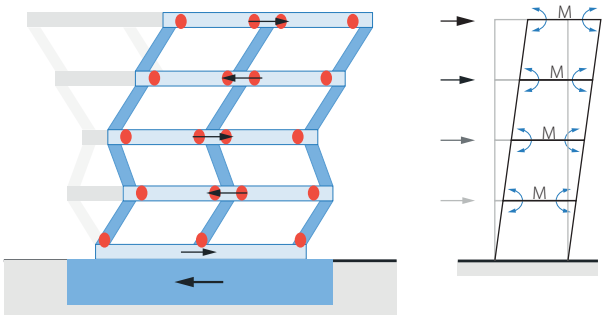


fig. 7.314 - *Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare intelaiato*

Strutture con controventi concentrici

Questa tipologia strutturale prevede l'assorbimento delle azioni orizzontali prevalentemente attraverso membrature soggette a forze assiali (bielle). In queste strutture le zone dissipative sono principalmente collocate nelle diagonali tese, pertanto possono essere considerati in questa tipologia solo quei controventi per cui lo snervamento delle diagonali tese precede il raggiungimento della resistenza delle aste strettamente necessarie ad equilibrare i carichi esterni. I controventi reticolari concentrici possono essere distinti nelle seguenti tre categorie:

- controventi con diagonale tesa attiva. La resistenza alle forze orizzontali e le capacità dissipative sono affidate alle aste diagonali soggette a trazione.
- controventi a V. Le forze orizzontali sono assorbite considerando sia le diagonali tese che quelle compresse. Il punto d'intersezione di queste diagonali giace su di una membratura orizzontale che deve essere continua.
- controventi a K. In cui il punto d'intersezione delle diagonali giace su una colonna. Questa categoria non è considerata dissipativa in quanto il meccanismo di collasso coinvolge la colonna.

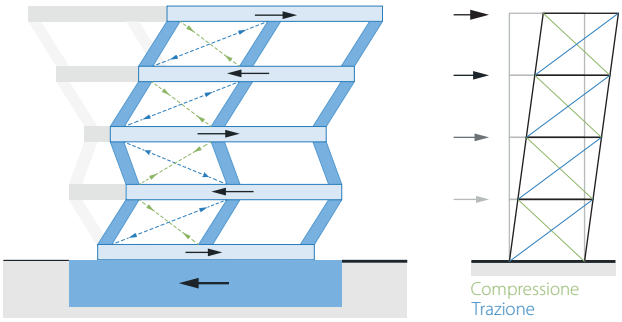


fig. 7.315 - *Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare con controventi concentrici*

Strutture con controventi eccentrici

Anche in questa categoria di strutture le forze orizzontali sono principalmente assorbite da membrature caricate assialmente, ma la presenza di eccentricità dello schema strutturale permette la dissipazione di energia nei traversi per mezzo del comportamento ciclico a flessione e/o taglio.

I controventi eccentrici possono essere classificati come dissipativi quando si raggiunge la plasticizzazione dei traversi a flessione e/o taglio, senza superare la resistenza ultima delle parti strutturali (diagonali e colonne).

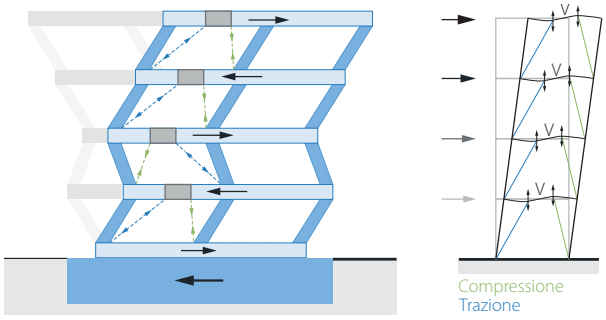


fig. 7.316 - *Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare con controventi eccentrici*

Strutture a mensola o a pendolo inverso

Sono costituite da membrature presso-inflesse in cui le zone dissipative sono collocate alla base.

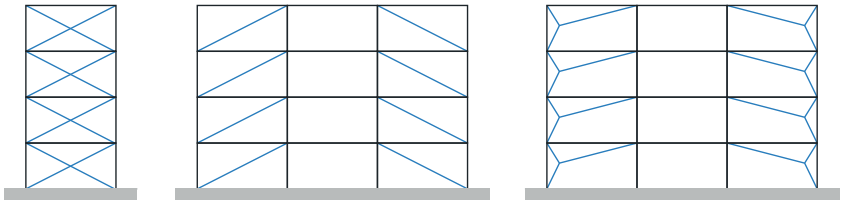
Strutture intelaiate con controventi concentrici

In questo caso le azioni orizzontali sono assorbite sia da telai che da controventi agenti nel medesimo piano.

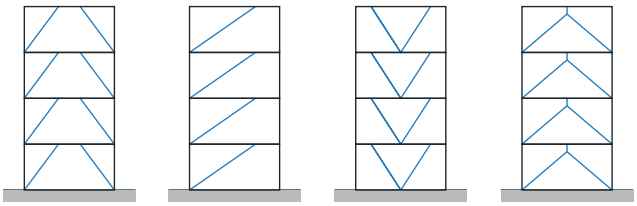
Strutture intelaiate con tamponature

Costituite da tamponature in muratura o calcestruzzo non collegate ma in contatto con le strutture intelaiate.

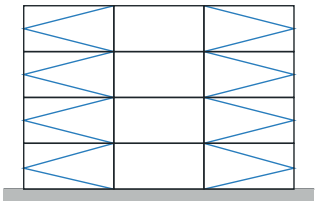
La struttura del *Cigno* sfrutta questi concetti strutturali ed, avvalendosi di un semplice schema di scienza delle costruzioni, è costituita da un'insieme di quadrilateri articolati in grado di sopportare sia le azioni verticali che quelle orizzontali e soprattutto di collaborare e ridistribuire i carichi dovuti allo sbalzo d'angolo.



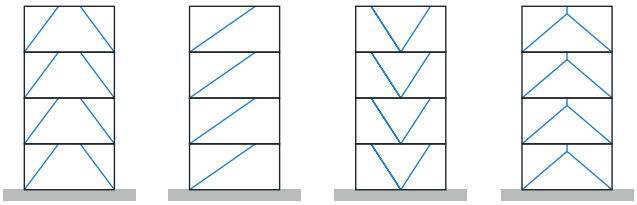
strutture con controventi concentri con diagonale tesa attiva



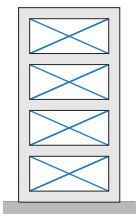
strutture con controventi concentri a V



strutture con controventi concentri a K



strutture con controventi eccentrici



strutture intelaiate con controventi concentri

fig. 7.317 - *Tipologie strutturali di controvento*

7.1.4 RETICOLO STRUTTURALE

L'idea da cui è nata la conformazione della struttura, è stata quella di far collaborare l'intera maglia strutturale allo scopo di sorreggere lo sbalzo riducendo ed omogeneizzando la dimensione dei profili.

A seguito delle considerazioni riportare precedentemente riguardo alle varie tipologie di controvento, la scelta adottata consiste nel realizzare due pareti reticolari (una in direzione Nord-Sud e la seconda in direzione Est-Ovest) insieme a setti in calcestruzzo armato.

Le pareti reticolari collaborano ai setti in calcestruzzo armato in modo da ottenere un comportamento a 'vela' dei due volumi costituenti la L nella condizione di carico sismica o soggetta all'azione del vento.

Questa particolare conformazione delle pareti consente di distribuire il carico dello sbalzo lungo le due pareti reticolari, evitando l'utilizzo di grosse travi a sbalzo per ogni piano dell'angolo. Di seguito è riportata la schematizzazione della struttura che individua le porzioni di edificio che reagiscono alle sollecitazioni orizzontali scomposte secondo le due direzioni di sviluppo dell'edificio (Nord-Sud | Est-Ovest).

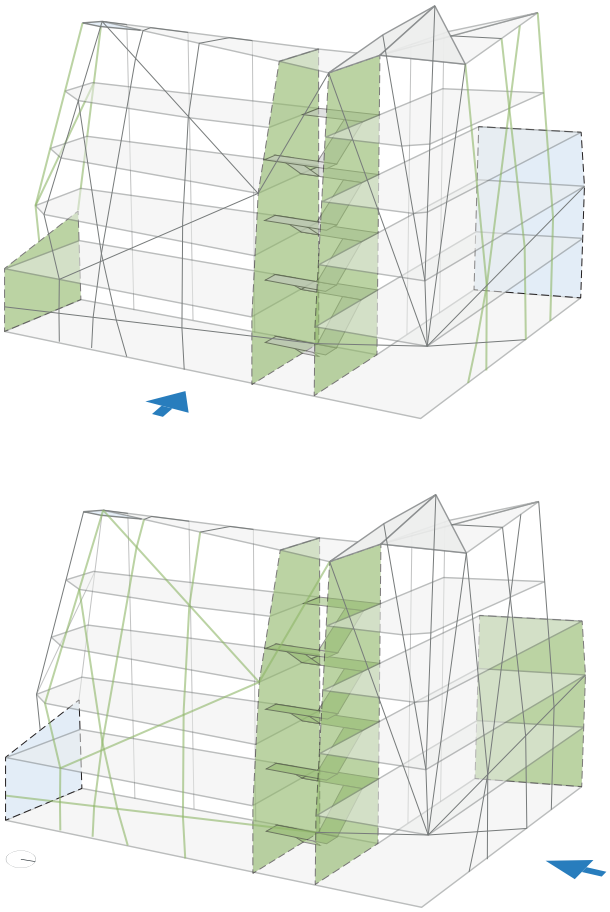


fig. 7.318 - *Comportamento del reticolo strutturale alle azioni orizzontali*

Le possibilità di conformazione della maglia strutturale sono molteplici e le variabili che ne identificherebbero la progettazione ottimale richiederebbero l'utilizzo di software studiate appositamente per questa tipologia di struttura. Il percorso progettuale da noi affrontato ha previsto un processo di trial and error al fine di definire il reticolo strutturale più consono alle nostre aspettative discusse in fase preliminare.

I punti chiave che hanno guidato la conformazione attuale della struttura sono:

- la distribuzione dei pilastri in modo che interferiscano il meno possibile con le aperture delle finestre e quindi senza influenzare la distribuzione interna degli appartamenti.
- l'utilizzo di un modulo derivante studiato analizzando il comportamento cinematico dello schema *quadrilatero articolato* derivante da scienza delle costruzioni.

E' facile individuare lo schema utilizzato osservando la facciata Est dell'edificio. Ogni sottomodulo della facciata è riconducibile ad un quadrilatero articolato grazie alla presenta di profili trasversali non perpendicolari allo sviluppo dei pilastri connessi ad essi attraverso l'uso di cerniere al fine di evitare la distribuzione di momenti flettenti lungo lo sviluppo della struttura verticale.

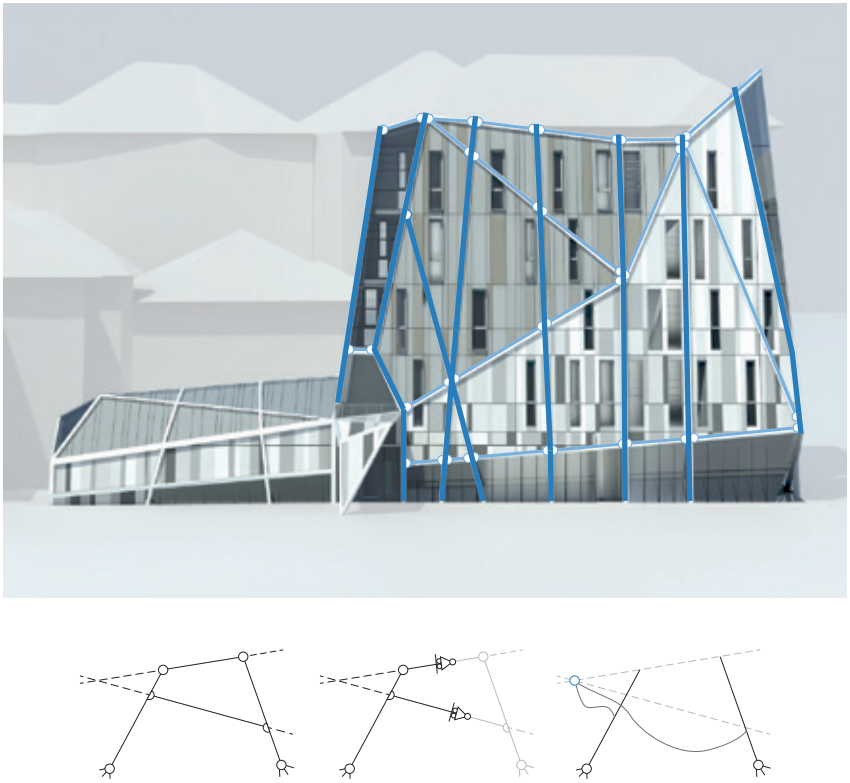


fig. 7.319 - *Analisi cinematica del fronte Est del Cigno*

fig. 7.321 - *John Hancock Center, Chicago progettato da Skidmore Owings and Merrill e completato nel1970*

7.2 MATERIALI DA COSTRUZIONE

7.2.1 PERCHÉ USARE L'ACCIAIO IN ARCHITETTURA?

La volontà di realizzare un edificio innovativo sia dal punto di vista formale che tecnico, ha guidato il design del *Cigno* verso l'utilizzo del sistema costruttivo S/R (struttura-rivestimento | stratificazione a secco | dry stratified technology). I dettagli di questo sistema sono ampiamente descritti nel capitolo tecnologico. In questa sede ci limiteremo a spiegare i motivi per i quali è stato adottato l'acciaio per la realizzazione della struttura portante.

L'acciaio è riconosciuto universalmente come il simbolo della Rivoluzione Industriale e soprattutto architettonica. Nel XIX secolo una forte necessità al cambiamento, ha spinto la società a sfruttare le nuove conquiste tecnologiche sia in termini di sistemi produttivi (catena di montaggio) che di materiali (ghisa, ferro, acciaio, cemento armato). La nuova società che ne è derivata, richiedeva la formazione di nuove figure specializzate quali meccanici ed ingegneri a 'sostituzione' di professioni come l'architetto e il muratore.

La maggior parte degli architetti infatti, durante il XIX secolo e per una gran parte del XX, si oppongono risolutamente alle nuove tecniche e materiali, risultando conservatori di un'architettura prettamente rinascimentale (soprattutto in America) e priva di innovazione. Al contrario, gli ingegneri erano definiti come i *costruttori dell'avvenire* spinti dal progresso ottenuto attraverso la scienza e la ragione.

Quest'innovazione ha portato alla realizzazione di architetture di fortissimo contenuto sia formale che tecnologico, sicuramente di forte ispirazione per i progettisti contemporanei.

Sulla base di queste considerazioni, oggi nascono nuove esigenze sociali date da un aumento sia del benessere che delle possibilità economiche che richiedono ulteriori importanti cambiamenti in architettura, ovvero: la necessità di approfondire il legame tra scienza e arte, la sostenibilità, la contrazione dei tempi di realizzazione, la reversibilità e la formazione di professionisti in grado di gestire responsabilmente il processo produttivo.

La risposta da parte delle università a queste esigenze è stata la formazione di figure professionali quali gli ingegneri edile-architetto. Questa nuova figura, necessaria per lo sviluppo della progettazione integrata ed in particolare del modello project management, è in grado di considerate i vari aspetti e ripercussioni di alcune scelte progettali, tra cui (forse la più importante) la scelta del materiale per la realizzazione delle strutture. La scelta del materiale e quindi dei sistemi di montaggio sono, infatti, in grado di cambiare notevolmente i meccanismi di progettazione e realizzazione di un edificio, nonché di definirne le velocità di costruzione e la sicurezza in cantiere.

fig. 7.320 - *Comparazione il cantiere tradizionale ed a secco*

La scelta dell'utilizzo del materiale acciaio per una struttura di un edificio, porta numerosi benefici al progetto.

Contrazione dei tempi di costruzione. La velocità di progettazione, di fabbricazione e di posa consente all'edificio di essere completato con tempi inferiori se confrontati con edifici la cui struttura è costituita da altri tipi di materiale. La produzione dei diversi elementi costituenti il telaio strutturale è spostata in un centro di produzione esterno all'area di cantiere, consentendo all'impresa di ridurre notevolmente i tempi di cantiere e quindi l'impatto che questo avrebbe sulla città.
Basso costo. Studi comparativi indicano che una struttura in acciaio, compresa di orizzontamenti e protezione antincendio, costa intorno dal 5% al 7% in meno rispetto ad una struttura in calcestruzzo armato. Rispetto agli anni '80, il costo delle strutture in acciaio si è ridotto fino al 62%, al contrario, il calcestruzzo, è aumentato fino al 114%. La causa di queste variazioni è dovuta al processo di produzione. Negli 1980, erano necessari 10 uomini/ora per la produzione di una tonnellata di acciaio, ora è richiesto meno di 1 uomo/ora.
Estetica. Da tempo l'acciaio è utilizzato dai progettisti per enfatizzare la grazia, la snellezza, la forza e la trasparenza dell'architettura. La sua resa estetica è pura e consente numerosi tipi di finiture.
Flessibilità progettuale. Grazie alle sue caratteristiche, l'acciaio può essere facilmente modellato, curvato e distorto al fine di creare elementi non lineari, spesso necessari per accomodare le esigenze formali e tecniche del progetto senza la necessità di costruire casseri speciali, richiesti ad esempio da una struttura in calcestruzzo armato.
Semplicità di progettazione. Gli schemi strutturali adottati per questo tipo di materiale consentono di isolare ogni elemento e quindi di facilitarne i calcoli. Questa semplificazione aumenta notevolmente la possibilità di verifica dei telai rendendo i calcoli più affidabili e facilmente comparabili ad una situazione reale. Inoltre, consente di ridurre i coefficienti di sicurezza (come specificato dalla normativa NTC2008), limitandone la sezione e quindi lo 'spreco' del materiale, il peso della struttura, quindi i costi di trasporto e l'impatto ambientale. Numerosi software (Building Information Modeling - BIM) consentono la progettazione architettonica parallelamente a quella strutturale, consentendo un'ulteriore contrazione dei tempi di progetto e quindi dei relativi costi.
Alta resistenza. La resistenza standard dell'acciaio è notevolmente superiore a quella di qualsiasi altro materiale, così come il suo rapporto peso/resistenza. La struttura risulta quindi più snella e leggera, necessitando quindi di fondamenta più leggere e meno costose.
Eco-sostenibile. L'acciaio è il materiale più riciclato sul pianeta. Oggi le strutture in acciaio sono composte al 88% di materiale riciclato, è completamente riciclabile oltre a poter essere riutilizzato senza ulteriori trattamenti. Il carbon footprint delle strutture in acciaio sono state ridotte del 47% dal 1990 e l'energia necessaria alla sua produzione è stata ridotta del 9% negli ultimi 10 anni ed oltre il 30% negli scorsi decenni. Inoltre, il suo processo di produzione non consuma acqua se non quella necessaria al rimpiazzo di quella evaporata. Le centrali di produzione dell'acciaio non utilizzano l'acqua durante il processo di produzione, evitando quindi il problema della sua re-immissione nell'ambiente, necessaria per altri tipi di materiali.

fig. 7.324 - *Eyecatcher building (GRP), 1999 Basel, Svizzera*

7.2.2 I NUOVI MATERIALI (GRP)

Con il termine Fiber Reinforced Polymers (o FRP o materiali fibrorinforzati a matrice polimerica) si indica una vasta gamma di materiali compositi, costituiti da una matrice polimerica di natura organica con la quale viene impregnato un rinforzo in fibra continua con elevate proprietà meccaniche.

fig. 7.322 - *Torre per test nucleari realizzata con profili pultrusi GRP*

Evoluzione storica

Negli ultimi 200 anni il rapido incremento di nuove tecnologie e materiali in edilizia ha portato l'ingegneria ad introdurre importanti miglioramenti della sicurezza, dell'economia e della funzionalità delle strutture.

I primi materiali fibrorinforzati usavano fibre di vetro inserite all'interno di resine polimeriche messe a disposizione dal settore petrolchimico dopo la seconda guerra mondiale.

La combinazione di alta resistenza e rigidità delle fibre strutturali, basso costo, leggerezza ed alta resistenza alla corrosione, hanno creato materiali compositi con proprietà meccaniche e durabilità di molto maggiori rispetto ad ogni singolo componente.

I primi utilizzi di questi materiali compositi risalgono agli anni 1960-70. Il boro, il carbonio e l'aramide (kevlar), grazie alle loro caratteristiche di resistenza, rigidezza e bassa densità, sono stati utilizzati a scopi aerospaziali e aereonautici.

A seguito di queste esperienze, l'industria produttrice di materiali fibrorinforzati si è evoluta abbattendo notevolmente i costi di produzione, fino a renderne possibile l'utilizzo per la realizzazione di infrastrutture negli anni '80-'90.

fig. 7.323 - *Aberfeldy Footbridge (GRP) Scozia*

lunghezza 114 m

anno di costruzione 1992

progettato da Naunsell Structural Plastics

I vantaggi dei materiali fibrorinforzati

I profili fibrorinforzati di nuova generazione sono ad oggi una valida alternativa ai materiali convenzionali usati per le strutture come il calcestruzzo, l'acciaio, l'alluminio e il legno.

Usati a scopo strutturale, questi materiali sono in grado di fornire elevate prestazioni combinando le caratteristiche dei diversi elementi che li compongono:

Resistenza. In termini di valori basati sulla densità unitaria, la resistenza a trazione, flessione e compressione dei GRP è di circa 20 volte quella dell'acciaio. I vantaggi che ne derivano sono un'elevata capacità di carico e di resistenza all'impatto, insieme alla possibilità di orientare le fibre allo scopo di ottenere maggior resistenza in determinate direzioni di sollecitazione.

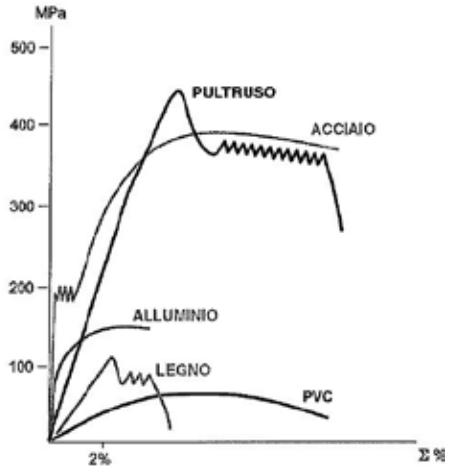


fig. 7.325 - *Grafico sforzi-deformazioni di comparazione tra diversi materiali*

Leggerezza. La densità dei GRP è circa il 20% dell'acciaio e il 60% dell'alluminio. Questo da la possibilità di progettare strutture ad una maggiore efficienza rapportata al peso proprio, ridurre i costi e l'impatto ambientale dovuti alla movimentazione dei profili, riducendo al contempo i rischi dovuti al montaggio.

Resistenza alla corrosione. E' un materiale altamente resistenze agli agenti corrosivi chimici ed ambientali. Questa caratteristica riduce notevolmente i costi di manutenzione aumentandone i tempi di servizio e di sicurezza.

Isolante. E' un materiale dielettrico, quindi non magnetico. I suoi valori di conducibilità sono nettamente inferiori all'alluminio e acciaio, rispettivamente 1/250 ed 1/60. Questa caratteristica è forse la più importante perché consente più facilmente il rispetto dei canoni di sostenibilità evitando ponti termici ed offrendo nuove prospettive architettoniche ai progettisti.

Assemblabilità. Qualsiasi elemento in GRP può essere assemblato tramite collegamenti meccanici o con resine epossidiche allo scopo di ottenere profili complessi o di dimensioni maggiori. Le connessioni possono essere effettuate con diversi materiali creando sezioni composite, quindi è utilizzabile anche in caso di ristrutturazioni e recupero di edifici.

Stabilità dimensionale. I profili offrono un'ottima resistenza alle deformazioni dovute da sollecitazioni di trazione/compressione, flessione e taglio in un ampio intervallo di temperature oltre che durante le fasi di produzione riducendo i margini di tolleranza dimensionale che durante le fasi di produzione riducendo i margini di tolleranza dimensionale.

I profili pultrusi quindi combinano un'elevata resistenza ad un ridotto peso specifico ed, allo stesso tempo, un'elevatissima resistenza alla corrosione.

Inoltre, essendo materiali prettamente isolanti ed auto estinguenti, si prestano a rispettare i canoni di sicurezza e della sostenibilità evitando ponti termici ed offrendo nuove prospettive architettoniche ai progettisti.

Grazie al loro peso ridotto, i costi di movimentazione, il relativo impatto ambientale e la sicurezza in cantiere si abbattono notevolmente.

Di seguito è riportata una tabella comparativa che mette in evidenza le caratteristiche meccaniche di questo materiale rispetto ai materiali convenzionali.

tab. 7.49 - *Comparazione tra le caratteristiche dei più comuni materiali da costruzione*

Proprietà	Pultruso	Acciaio	Alluminio	PVC	Unità
Densità	1,8	7,8	2,8	1,4	g/cm^3
Resistenza a trazione	350-400	370-500	200-400	40-60	MPa
Allungamento a trazione	1,5-2,0	13-35	5-35	10-80	%
Resistenza alla flessione	400-450	330-500	200-400	70-100	MPa
Modulo elastico	25-30	210	70	2,8-3,3	MPa x 10^3
Modulo a flessione	15-20	210	70	2,8-3,3	MPa x 10^3
Resistenza all'urto	200	400	200	85-95	MPa/m^2
Conducibilità termica	0,25-0,35	100-230	100-230	0,15-0,25	W/m °C
Coeff. di espansione	5-20x10^6	10-14x10^6	20-25x10^6	50-100x10^6	M/m °C
Capacità dielettrica	5-15	-	-	40-50	KV/mm
Resistività volumica	10^{10}-10^{14}	0,2-0,8	0,028	>10^{16}	ωcm

Processo di produzione: la Pultrusione

La pultrusione (dall'inglese pull+extrusion, ovvero estrusione per trazione) è un processo utilizzato per la produzione di profilati polimerici rinforzati con fibre di vetro o carbonio a sezione costante. Il primo brevetto risale al 1951 ad opera di W. Brandt Goldsworth (1915-2003), un ingegnere meccanico Californiano e pioniere dell'industria plastica e materiali compositi.

Le fibre di rinforzo in forma di roving o stuoie continue (nel nostro caso fibre di vetro) vengono prelevate dalla cantra e immerse in un bagno di impregnazione costituito da resine (matrice termoindurente). Le fibre impregnate vengono guidate da stazioni di preformatura tramite le quali gli eccessi di resina ed aria vengono rimossi. Successivamente i profilati passano attraversano un die riscaldato ad elevata temperatura avente la forma della sezione da produrre in cui viene attivata la polimerizzazione. Infine i profilati vengono trasportati fino alla zona di taglio.

L'intero processo di polimerizzazione avviene in uno stampo chiuso, riducendo in maniera sostanziale le emissioni di eventuali sostanze volatili, in questo modo è possibile ottenere un grado di polimerizzazione molto elevato riducendo l'impatto ambientale della produzione.

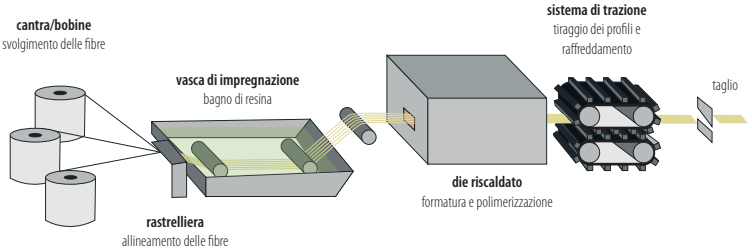


fig. 7.326 - *Schema del processo di pultrusione*

fig. 7.327 - *W. Brandt Goldsworth (1915-2003), ingegnere meccanico laureato presso University of California a Berkeley*

1° brevetto 'materiali compositi ottenuti con il processo di pultrusione' nel 1951

Rastrelliera

La rastrelliera per roving continui in genere consiste di una semplice scaffalatura per inserire i rotoli di roving da tirare e da piastre forate in materiale ceramico posizionati immediatamente sopra il centro di tiro dei rotoli ad intervalli convenienti per condurre le fibre di rinforzo attraverso il bagno di resina. Nella preparazione del processo di pultrusione bisogna tenere la massima cura per assicurare che i filamenti non frizionino l'uno contro l'altro generando una considerevole carica statica che causerebbe increspature (fuzz balls) nel recipiente della miscela di resina, incrementando la sua viscosità. Le scaffalature metalliche rappresentano la migliore scelta poiché esse possono essere collegate al sistema di messa a terra e dissipare così la carica statica. Un alternativa all'uso di guide con fori ceramici e un più elementare sistema di tubi in vinile per guidare i filamenti di rinforzo dalla rastrelliera al recipiente di resina.

Vasca di impregnazione

Il bagno di resina, o più in generale il recipiente di resina, è in lamiera di metallo o alluminio contenente all'interno rulli che forzano il materiale di rinforzo al di sotto della superficie della miscela di resina liquida. Molti recipienti di resina ben realizzati contengono un insieme di rulli o fessure all'estremità di uscita che possono essere regolati per asportare parte dell'eccesso di resina dalle fibre di rinforzo. Un pettine o una piastra grigliata generalmente è prevista all'estremità di ingresso ed uscita del recipiente del bagno di resina per tenere i filamenti di rinforzo in allineamento orizzontale nell'attraversamento del recipiente. Il recipiente dovrebbe anche avere un tappo di drenaggio per svuotare la miscela.

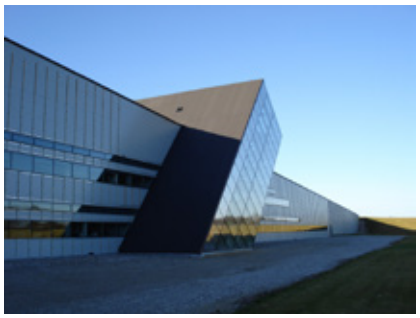


fig. 7.328 - *Fiberline Building in Middlefart, Danimarca*

Sistema di preformatura

Il sistema di preformatura consolida la fase di rinforzo avvicinando la forma del composito verso quella finale fornita dal die. Questi possono essere costruiti in flourocarbonato o di polietilene ad alto peso molecolare poiché essi sono facili da fabbricare e da pulire, o di piastre di acciaio al cromo per una durata maggiore su lunghi cicli di produzione.

Die riscaldati

Le piastre metalliche al cromo accoppiate possono essere riscaldate da cartucce elettriche, da nastri riscaldanti o attraverso oli caldi. Profili con sezioni sottili sono, in genere, riscaldati più facilmente mediante conduzione. La cura (dall'inglese curing) è il processo attraverso cui si svolge la reticolazione della matrice polimerica che entra nella composizione di un determinato materiale composito. Essa avviene in tre stadi:

- stadio di flusso
- stadio di gel (o gelificazione)
- vetrificazione

Questo processo, utilizzato per sezioni unidirezionali spesse, può essere accelerato e reso più uniforme usando sia le radiazioni per radiofrequenze (RF) che scambi termici conduttivi. Per cure con radio frequenze (RF) è necessario avere una sezione corta dello stampo costruita in un materiale trasparente alle radiazioni RF, tale come il TeflonTM o per supportare i filamenti di rinforzo impregnati su ciascun lato della stazione RF aperta, con griglie o elementi guida.

Sistema di tiro

Il sistema di tiro può essere costituito sia da un paio di caterpillar contenenti cuscinetti imbottiti che ingaggiano il pultruso, che da un doppio set di cilindri di afferraggio con cuscinetti imbottiti che possono essere sincronizzati per un tiro continuo, o infine un singolo cilindro per un tiro intermittente.

Sistema di taglio

Un conveniente sistema di taglio impiega un disco abrasivo o un filo continuo diamantato qualche volta un sistema di raffreddamento spray. In aggiunta al raffreddamento del disco di taglio e al miglioramento della apparenza della sezione di taglio, lo spray di raffreddamento minimizza anche le quantità di polveri. Il sistema di taglio esegue quest'operazione durante la corsa di andata. Il carrello portante il sistema di taglio è vincolato al prodotto pultruso durante l'effettiva operazione di taglio.

Il sistema della pultrusione è basato sull'equilibrio tra la velocità di trazione del traino, ed i tempi di polimerizzazione della resina: se la catalisi avviene troppo velocemente, il materiale diventa duro all'interno del die, bloccando il processo di trazione. Al contrario, ovvero se la catalisi è troppo lenta, il materiale uscirà dal die ancora gelificato, e la forza di trazione al quale verrà sottoposto, causerà la deformazione del profilo in uscita.

I profilati hanno ottima resistenza a trazione nella direzione delle fibre, mentre nella direzione trasversale le proprietà sono abbastanza basse, visto che dipendono dalla resina. Per aumentare quindi le proprietà meccaniche del profilato è possibile usare dei nastri tessili.

La pultrusione è in grado di trattare matrici polimeriche sia termoindurenti (es. poliestere, resina epossidica, acrilico, vinilestere, etc.) che termoplastiche (PVC, poliuretano, polietilene, etc.), permettendo inoltre il simultaneo utilizzo di diversi materiali di rinforzo.

7.2.3 STATO DELL'ARTE E FUTURI SVILUPPI

fig. 7.329 - *Ponte pedonale, Madrid*
Il ponte è realizzato interamente con polimeri rinforzati con fibre di carbonio - lunghezza 44 m e larghezza 3,5

Il processo di pultrusione consente la produzione di manufatti caratterizzati da un allineamento e una uniformità di distribuzione delle fibre pressoché perfetti e da un tasso di rinforzo (espresso come percentuale di volume di fibre rispetto al volume totale) elevatissimo e non raggiungibile con nessun altra tecnologia. Normalmente un manufatto pultruso ha un tasso di rinforzo variabile tra il 50% e il 60%, ovvero circa il doppio di quello che si può conseguire con tecniche di layout manuale. Inoltre, il tasso di rinforzo conseguibile e, quindi, le prestazioni finali del composito, sono controllabili con estrema precisione.

Il limite della pultrusione sta nella possibilità di realizzare esclusivamente manufatti a sezione costante e con fibre tutte orientate in un'unica direzione. Pertanto, con questa tecnologia, vengono prodotti esclusivamente lamine, profilati e barre di varia sezione.

Negli ultimi trent'anni i materiali compositi fibrorinforzati (Fiber Reinforced Polymers: FRP) sono stati impiegati con grande successo nei campi dell'Ingegneria aeronautica, meccanica e navale. Recentemente, le loro notevoli proprietà meccaniche, gli elevati rapporti rigidezza/peso e resistenza/peso, da essi presentati, nonché la considerevole resistenza alla corrosione ne hanno valorizzato l'impiego anche nel settore dell'Ingegneria Civile, in sostituzione e/o integrazione dei materiali tradizionali.

I principali fattori che ne hanno contenuto l'utilizzo sono rappresentati dagli elevati costi del materiale, dal problema dei giunti e delle unioni, dall'assenza di una consolidata modellazione meccanica del loro comportamento strutturale e conseguentemente di normative di riferimento.

Le esperienze finora maturate in campo internazionale hanno riguardano soprattutto la realizzazione di strutture assemblabili, quali ponti e passerelle pedonali, di strutture off-shore e la costruzione di edifici a carattere sperimentale. In particolare, le applicazioni nel settore civile sono consistite soprattutto nell'assemblaggio di profili pultrusi, il cui uso può comportare una riduzione delle masse strutturali fino al 70% rispetto ai materiali tradizionali ed assicurare tempi ridottissimi di montaggio senza richiedere un impiego eccessivo di manodopera e/o di equipaggiamenti pesanti.

Considerando l'elevato standard di prestazioni di materiali compositi in termini di efficacia, durata, manutenzione e costi, l'applicazione dei compositi rinforzati con fibre naturali come materiale da costruzione rappresenta un potenziale enorme ed è fondamentale per raggiungere la sostenibilità. A causa della loro bassa densità e la loro struttura cellulare, la fibra naturale possiede delle buone proprietà di isolamento acustico e delle ottime proprietà di isolamento termico, eliminando uno dei problemi connessi con l'impiego delle fibre antagoniste come quelle di vetro o di lana di roccia (ad esempio, la manipolazione e lo smaltimento).

I materiali compositi possono essere più resistenti e, specialmente nel caso dei compositi a fibra di carbonio, più rigidi dei materiali da costruzione tradizionali. Conseguentemente, quando per uno specifico progetto, il peso della struttura diventa rilevante, i compositi possono risultare molto attrattivi grazie alla loro minore densità. La resistenza specifica (resistenza/densità) dei compositi può assumere valori fino a quattro volte superiori rispetto a quelli esibiti dai materiali tradizionali; il loro modulo di elasticità normale specifico (modulo/densità) fino al doppio. Ciò significa che, a parità di rigidezza, una struttura di materiale composito può arrivare a pesare circa la metà di un'altra realizzata con un materiale da costruzione tradizionale.

Un importante e significativo passo in avanti, compiuto nel nostro Paese per la diffusione, in campo civile, di strutture realizzate con materiali compositi fibrorinforzati è rappresentato dalla pubblicazione da parte del CNR di specifiche Linee Guida per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture realizzate con o con la collaborazione di materiali compositi polimerici innovativi (CNR-DT 205/2007).

Nelle costruzioni civili il promettente impiego degli FRP oggi copre principalmente tre categorie di funzioni:

- armatura di materiali tradizionali quali calcestruzzo, muratura e legno
- strutture interamente in composito (profili strutturali)
- rinforzo di elementi strutturali esistenti di varia tipologia e materiale

Gli sviluppi futuri di questi materiali sono molto promettenti. La loro produzione, il loro ciclo di vita e il riutilizzo si accostano alle politiche di sostenibilità richiesta dall'architettura civile. Numerosi studi recenti e contemporanei sono volti al studio e miglioramento delle loro capacità e soprattutto alla loro interazione con le strutture tradizionali e tra gli elementi stessi, ovvero lo studio delle connessioni tramite unioni bullonate e collanti chimici che , fin'ora, si sono dimostrati capaci di resistere alle sollecitazioni di collasso, tanto da non essere considerati il punto debole del materiale.

7.2.4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati per la realizzazione della struttura sono l'acciaio, per il guscio freddo, polimeri pultrusi fibrorinforzati per le connessioni ed il calcestruzzo armato per i setti del vano scale e le terminazioni dei volumi. Al fine di garantire la trasmissione dei carichi orizzontali al piano dovuti all'azione sismica e del vento, gli orizzontamenti sono costituiti da una sezione composita acciaio-calcestruzzo resa collaborante grazie all'ausilio di lamiere grecate ad aderenza migliorata. La struttura in acciaio si sviluppa fuori terra, trasmettendo i carichi progressivamente ai muri di contenimento della porzione ipogea dell'edificio, fino alle fondazioni.

7.2.5 ACCIAIO

Dal §11.3.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/01/2008, in sede di progettazione si possono assumere convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

modulo elastico	E=210.000 N/mm$_2$
modulo di elasticità trasversale	G=8100 N/mm^2
coefficiente di Poisson	v=0,3
coefficiente di espansione termica lineare	α=12x10-6 per °C^{-1}
densità	ρ=7850 kg/m^3

Sempre in sede di progettazione, per gli acciai di cui alle norme europee EN 10025, EN 10210 ed EN 10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati nelle tabelle seguenti.

tab. 7.50 - *Laminati a caldo con profili a sezione aperta (rif. NTC2008 - tab. 11.3.IX).*

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm^2]	f_{tk} [N/mm^2]	f_{yk} [N/mm^2]	f_{tk} [N/mm^2]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

7.2.6 CALCESTRUZZO C25/30

resistenza caratteristica a compressione	f_{ck}=25 N/mm^2
resistenza di progetto a compressione	f_{cd}=αcc(fck/γc)=0,85(25/1,5)=14,2 N/mm^2
tensione ammissibile nel cls [comb. rara]	σ_{cadm}=0,6fck=15 N/mm^2
resistenza media a trazione	f_{ctm}=0,3(fck)2/3=2,6 N/mm^2
resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}=0,7fctm=1,8 N/mm^2
resistenza a trazione di progetto	f_{ctd}=αct(fctk/γc)=1(1,8/1,5)=1,2N/mm^2
modulo elastico secante	E_c=22[(fck+8)/100,3=31000 N/mm^2

7.2.7 PULTRUSI (GRP)

La normativa tecnica *CNR DT205/2007 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture realizzate con Profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)* - fornisce un prospetto riassuntivo della regolamentazione UNI EN ISO volta ad identificare le proprietà meccaniche dei polimeri fibrorinforzati attraverso prove su campioni di materiale (tab. 3.2 - *caratteristiche fisiche*).

Tali caratteristiche sono state dedotte dalle relative prove di laboratorio effettuate dai produttori di profili in parete sottile a matrice polimerica fibrorinfozata a scopo strutturale.

modulo elastico	E_L=28000 Mpa
modulo di elasticità tangenziale	G=3000 Mpa
resistenza a flessione	f_b=240 Mpa
resistenza a trazione	f_t=240 Mpa
resistenza a compressione	f_c=240 Mpa
resistenza a taglio	f_v=25 Mpa
modulo di Poisson	ν=0,23
densità	ρ=1740 kg/m^3

7.2.8 BULLONI

Dal § 11.3.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/01/2008, i bulloni conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001, associate nel modo indicato nella Tab. 11.3.XII.2

La realizzazioni delle unioni tra i vari elementi della struttura è stata effettuata mediante l'utilizzo di bulloni le cui caratteristiche sono riportate di seguito.

tab. 7.51 - *Caratteristiche dei bulloni (rif. NTC2008 - tab. 11.3.XII.a - tab. 11.3.XII.b).*

	Normali			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4	5	6	8	10

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm^2)	240	300	480	649	900
f_{tb} (N/mm^2)	400	500	600	800	1000

7.3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto strutturale rispetta le prescrizioni descritte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), di cui al Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 e le relative Circolari applicative (Circ. NTC).

Esse sono state il riferimento principale nella definizione dei criteri generali di sicurezza, delle azioni gravanti sulla struttura e della sua vita nominale, delle caratteristiche dei materiali e delle verifiche di sicurezza del sistema strutturale e dei singoli componenti che lo compongono.

Per quanto non specificato nelle NTC2008, si è fatto riferimento agli Eurocodici ed alle rispettive Appendici Nazionali.

Di seguito sono riportate le normative di riferimento.

- D.M. 14.01.2008: 'Norme tecniche per le costruzioni'
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 02.02.2009 n° 617: 'Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. del 14.01.2008'
- Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture
- Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio
- Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

Per quanto concerne la verifica dei profili a matrice polimerica fibrorinforzati con fibre di vetro (GRP) ed in aggiunta alle indicazioni fornite dalle NTC2008, è stata considerata la normavita tecnica *CNR DT205/2007 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture realizzate con Profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)* .

7.4 VERIFICHE DI SICUREZZA

La valutazione della sicurezza della struttura è stata effettuata attraverso l'utilizzo del metodo semiprobabilistico agli stati limite, secondo cui la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza della struttura e le azioni agenti su di essa.

In generale, dal § 2.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;*
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;*
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.*

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
Dunque, come espresso nel §2.2.3, le opere strutturali devono essere verificate:

- *per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;*
- *per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.*

Dal § 2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008, la sicurezza della struttura deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni rappresentate dai valori caratteristici R_{ki} e F_{kf} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In generale, i frattili sono assunti pari al 5%.

7.5 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Le strutture sono sottoposte ad azioni di diversa natura, distribuzione ed intensità. Alcune di loro agiscono in maniera costante durante la vita dell'edificio (carichi permanenti), altre variano nel tempo (carichi accidentali). Questi ultimi sono definiti da condizioni convenzionali semplificate spesso non corrispondenti ai carichi reali che agiranno sulla struttura, ma in grado di riprodurre stati di sollecitazione più gravosi.

I carichi agenti sulla struttura sono stati valutati come descritto nel § 2.5.1.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008, ovvero secondo la classificazione delle azioni in base alla variazione della loro intensità nel tempo:

permanenti (G). *Azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:*

- *peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1)*
- *peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2)*
- *spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione*
- *pretensione e precompressione (P)*
- *ritiro e viscosità*
- *spostamenti differenziali*

variabili (Q). *Azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:*

- *di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura*
- *di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura*

eccezionali (A). *Azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura*

- *incendi*
- *esplosioni*
- *urti ed impatti*

sismiche (E). *Azioni derivanti dai terremoti*

I pesi propri ed i carichi permanenti sono determinati in base alle dimensioni geometriche degli elementi costruttivi ed ai pesi specifici dei materiali costituenti l'edificio.

I sovraccarichi variabili, legati all'esercizio dell'opera, sono stati dedotti dalla normativa ed intesi come valori minimi.

7.6 ANALISI DEI CARICHI

7.6.1 PERMANENTI (G)

Le azioni permanenti agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione. Esse sono legate all'azione gravitazionale e sono determinate a partire dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali di cui è composta la costruzione sia nelle parti strutturali sia in quelle non strutturali.

STRUTTURALI (G1)

- Al fine di rispettare una logica nella successione dei calcoli: i pesi propri della struttura saranno calcolati a posteriori rispetto ai carichi permanenti non strutturali ed a quelli variabili.
- Il peso proprio della struttura deriva dalla dimensione geometrica dei profili che a sua volta è funzione di un dimensionamento delle membrature a valle dell'analisi dei carichi portati.

NON STRUTTURALI (G2)

Per l'analisi dei carichi permanenti non strutturali si è fatto riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008.

Dal § 3.1.3, sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti.

E' inoltre definito che 'In linea di massima, in presenza di orizzontamenti […] con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti. […] I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici per abitazioni e uffici possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

Al fine di definire i carichi agenti sulla struttura, sono stati analizzati i diversi componenti dei pacchetti tecnologici.

Conoscendo lo spessore di ogni materiale e la relativa densità espressa in kg/m^3, è stato possibile ottenere la massa di ogni pacchetto tecnologico che è stata successivamente tradotta in forza peso moltiplicando la massa per l'accelerazione gravitazionale terrestre (9,81 m/s^2).

Di seguito sono riportate le analisi relative ai componenti del solaio, utili alla definizione del carico distribuito orizzontale gravante sugli orizzontamenti.

P.O.1	solaio dei piani residenziali		interno-interno
strati funzionali	**materiali**	**sp. [mm]**	**massa [kg/m2]**
finitura	gres porcellanato	12	20
ripartizione carichi	gessofibra	23	28
sistema radiante	EPS+radianti	30	1
livellamento	massetto autolivellante	40	24
controsoffitto	cartongesso+lana minerale		18
impianti	distribuzione a controsoffitto		10
		Massa	***101***

Il carico realtivo alle partizioni orizzontali ai piani residenziali considerato in fase di progetto è pari a **1,00 kN/m^2**.

P.V.1	pareti divisorie interne a doppia orditura ad alto isolamento acustico [Rw=61 dB]		interno-interno
strati funzionali	**materiali**	**sp. [mm]**	**massa [kg/m2]**
finitura	doppia lastra in cartongesso	25	22,5
isolamento	pannelli in fibre minerali	40+40	3,20
supporto	doppia sottostruttura metallica	6/10x(50+50)	5,00
finitura	doppia lastra in cartongesso	25	22,5
		Massa Superficiale	***53,20***

Le partizioni interne hanno una massa superficiale pari 53,2 kg/m^2, che equivale a 0,522 kN/m^2. Considerando un'altezza netta di interpiano pari a 3,20 m, il peso lineare delle partizioni è di 1,67 kN/m.

Il D.M. 14/1/2008 concede al progettista di considerare le partizioni interne come un carico distribuito omogeneamente sulla superficie del solaio, invece che un carico distribuito linearmente (situazione reale). Questo semplificazione è a vantaggio delle possibili variazioni di distribuzione interna dell'edificio che quindi non necessiteranno di ulteriori verifiche strutturali. Quindi, dal § 3.1.3.1 del D.M. 14/1/2008:

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k}, purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_{2k} ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_{2k} delle partizioni nel modo seguente:

- *per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00$ kN/m $g2 = 0,40$ kN/ m_2*
- *per elementi divisori con $1,00 < G_2 < 2,00$ kN/m $g_2 = 0,80$ kN/ m^2*
- *per elementi divisori con $2,00 < G_2 < 3,00$ kN/m $g_2 = 1,20$ kN/ m^2*
- *per elementi divisori con $3,00 < G_2 < 4,00$ kN/m $g_2 = 1,60$ kN/ m^2*
- *per elementi divisori con $4,00 < G_2 < 5,00$ kN/m $g_2 = 2,00$ kN/ m^2*
- *per elementi divisori con $1,00 < G_2 < 2,00$ kN/m $g_2 = 0,80$ kN/m^2*

Il carico lineare delle partizioni considerate nel progetto rientra nel range di valori compresi tra 1,00 e 2,00 kN/m, quindi il peso ripartito considerato in fase di progetto è pari a **0,80 kN/m^2**.

Il carico distribuito linearmente sulle travi principali perimetrali è stato calcolato analizzando il sistema tecnologico di facciata.

C.V.1	pareti perimetrali opache		interno-esterno
strati funzionali	**materiali**	**sp. [mm]**	**massa [kg/m2]**
finitura	doppia lastra in cartongesso	25	22,5
isolamento	pannelli in fibre minerali	40	1,60
supporto	sottostruttura metallica	6/10x50	
supporto	pannelli in fibra di legno	20	10
isolamento	pannelli in fibre minerali	80	3,20
supporto	sottostruttura metallica	6/10x100	
supporto	pannelli in OSB	30	19,50
isolamento	pannelli in polyiso	120	4,08
finitura	pannelli in allumino	6	4
		Massa Superficiale	***64,88***

Perimetralmente ad ogni piano grava un carico lineare pari a **2,22 kN/m** dovuto alla presenza della chiusura verticale opaca.

7.6.2 CARICHI VARIABILI (Q)

Dal § 3.1.4 delle NTC2008. I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- *carichi verticali uniformemente distribuiti qk [kN/m²],*
- *carichi verticali concentrati Qk [kN]*
- *carichi orizzontali lineari Hk [kN/m]*

I valori nominali e/o caratteristici q_k, Q_k ed H_k sono riportati nella tab. 3.1.II. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture. I carichi verticali concentrati Qk formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento; in assenza di precise indicazioni può essere considerata una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm.

tab. 7.52 - *Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici (rif. NTC2008 - tab. 3.1.II).*

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	**Ambienti ad uso residenziale.** Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	**Uffici.**			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
C	**Ambienti suscettibili di affollamento**			
	Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	**Ambienti ad uso commerciale.**			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie…	5,00	5,00	2,00
E	**Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.**			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	**Rimesse e parcheggi.**			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	**Coperture e sottotetti**			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

I carichi variabili rientrano nella tipologia di azioni dovute alla presenza di persone il cui peso sollecita la struttura ed in base al grado di affollamento definito dalla normativa dovuto alla destinazione d'uso dell'edificio.

Il piano terra e i due interrati ospitano la Me-Library (cat. E) con un grado di affollamento previsto di **6 kN/m²**.

Ai piani superiori, invece, l'edificio è a destinazione residenziale (cat. A) quindi è previsto un carico di affollamento di **2,00 kN/m²**.

Il vano scale, i balconi e le serre (cat. C2) sono state progettate per sopportare un carico da affollamento pari a **4,00 kN/m²**.

La copertura invece è caricata con **0,50 kN/m²** per consentirne la manutenzione.

7.6.3 AZIONE DELLA NEVE

La neve ha la possibilità di depositarsi su una copertura diversi modi in funzione della sua forma, rugosità e caratteristiche termiche, della quantità di calore generata al di sotto della copertura e dalla prossimità degli edifici limitrofi e dal clima meterologico locale (ventosità, variazioni di temperatura e probabilità di pioggia/neve).

Nei casi in cui la pioggia segue la caduta della neve, il carico che subisce la copertura subisce un incremento significativo, sia a causa della probabile ostruzione del sistema di raccolta e smaltimento acque che per il risultate scioglimento della neve che ne aumenta notevolmente il peso specifico.

Al fine di evitare punti di accumulo della neve, sono state effettuate analisi locali e globali sulla copertura che hanno guidato alla progettazione di una forma idonea a garantirne la rigidità (imponendo un'adeguato interasse delle strutture secondarie) e che allo stesso tempo accomodi l'impianto fotovoltaico, garantendone un'ottima esposizione.

Dal § 3.4.1 delle NTC2008, il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s \left[\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}\right] = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- q_s *è il carico neve sulla copertura*
- μ_i *è il coefficiente di forma della copertura*
- q_{sk} *è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²]*
- C_E *è il coefficiente di esposizione*
- C_t *è il coefficiente termico*

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

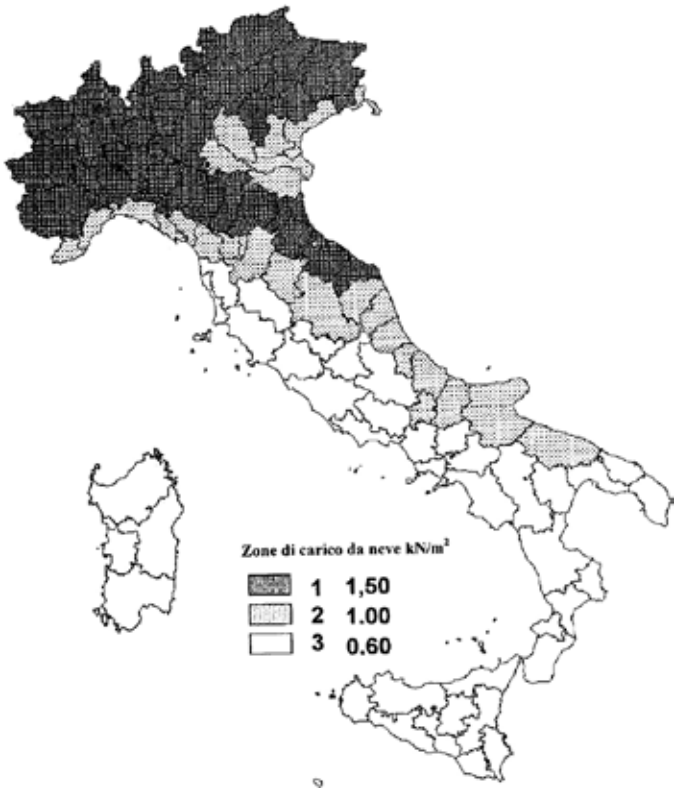
fig. 7.330 - *struttura collassata per il carico da neve*

Calcolo dei coefficienti

q_{sk} - carico della neve al suolo

Dal § 3.4.2 delle NTC2008, il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Va richiamato il fatto che tale zonazione non può tenere conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente. L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.



La *Zona I Mediterranea* comprende le seguenti città: Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.

- q_{sk}=1,50 kN/m² $a_s \leq 200$ m.s.l.m.
- q_{sk}=1,35[1+(as/602)2]kN/m² $a_s > 200$ m.s.l.m.

In quanto Milano si trova ad un altitudine inferiore a 200 m.s.l.m, il carico di neve al suolo ($\mathbf{q_{sk}}$) risulta pari a **1,50 kN/m²**.

μ_1 - coefficiente di forma della copertura

Il coefficiente di forma della copertura considera la capacità di accumulare neve in base alla geometria della stessa. Il coefficiente riduttivo diminuirà all'aumentare dell'inclinazione delle falde fino ad annulare il carico della neve sulla copertura in corrispondenza di un'inclinazione di falda superiore a 60°.

tab. 7.53 - *Valori del coefficiente di forma (rif. NTC2008 - tab. 3.4.II).*

Coefficiente di forma	$0° \le \alpha \le 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \ge 60°$
μ_1	0,8	$0{,}8 \cdot \frac{(60-\alpha)}{30}$	0,0

La copertura presenta gradi di inclinazione diversi per ogni falda e comunque un'inclinazione minima (α) di 15%.

In termini cautelativi, è stato considerato un coefficiente di forma (μ_1) pari a **0,8°**.

C_E - coefficiente di esposizione

Dal § 3.4.3 delle NTC2008, il coefficiente di esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in Tab.3.4.I. Se non diversamente indicato, si assumerà C_E=1.

tab. 7.54 - *Valori del coefficiente di esposizione per le diverse classi di topografia (rif. NTC2008 - tab. 3.4.I).*

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

L'edificio sorge in un area urbana ad alta densità, ma il lotto è considerabile isolato e quindi non influenzato nè dagli edifici circostanti, nè dalla vegetazione presente.

Il coefficiente di esposizione ($\mathbf{C_E}$) è stato considerato pari a **1**.

Ct - coefficiente termico

Dal § 3.4.4 delle NTC2008, il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato C_t=1.

La soluzione tecnologica della copertura che è stata adottata è quella del tetto ventilato iperisolato. Riducendo la dispersione di calore verso l'esterno, la neve non subisce l'effetto di scioglimento, mantenendo la densità costante (considerando condizioni climatiche istantanee) e non variando la sua conformazione.

Quindi, il coefficiente temico $\mathbf{C_t}$ adottato è pari a **1**.

Qs - carico della neve sulle coperture

Il calcolo della neve sulle coperture non è considerabile omogeneo su tutto l'edificio a causa della sua complessità geometrica. La normativa richiede di valutare le diverse combinazioni di carico che agiscono sulle falde e di considerare la più sfavorevole. La copertura del *Cigno* è composta da numerose falde inclinate su piani di rotazione diversi, creando intersezioni non ortogonali agli principali (x,y,z).

L'edificio è caratterizzato da due tipologie di copertura:

tetto piano. la terrazza dell'appartamento Nord al secondo piano e la copertura del vano ascenscore.

tetto a due falde. le coperture inclinate sono riconducibili a questa tipologia di

copertura seppur sono composte da intersezioni di colmo non parallele all'asse dei volumi che ricoprono.

Al fine di determinare le inclinazioni della copertura sono state individuate le linee di massima pendenza per ogni falda, per le quali è stato misurato l'angolo di elevazione (φ) identificativo della pendenza della falda.

Successivamente sono state analizzate delle sezioni significative ed i relativi comportamenti sezionali sia longitudinali che trasversali rispetto ai volumi. Le analisi sono state utilizzate per il calcolo del carico della neve nei punti critici di accumulo.

Dal § 3.4.5 delle NTC2008, devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico:

- carico da neve depositata in assenza di vento;

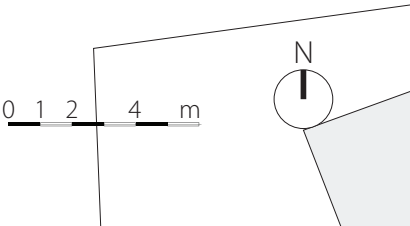
- carico da neve depositata in presenza di vento.

copertura **A**

copertura **B**

copertura **C**

copertura **D**



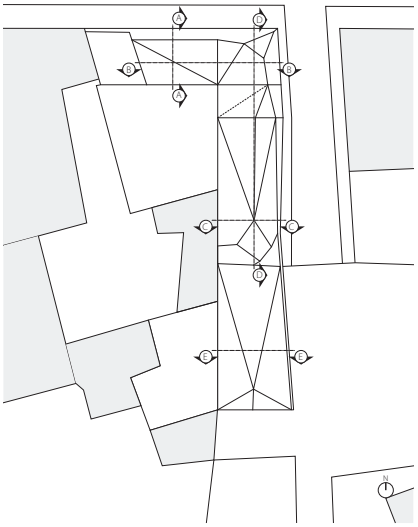


fig. 7.332 - *Navigatore*

Copertura A

La terrazza della residenza situata al secondo piano del blocco Nord è considerabile una copertura piana, per la quale il carico della neve è costante in entrambe le situazioni di presenza e assenza di vento.

q_{sk} [kN/m²]	μ_6	C_E	C_t	Q_{s6} [kN/m2]
1,50	0,8	1	1	**1,20**

Copertura B

La copertura del blocco Nord è caratterizzata da un comportamento sezionale trasversale assimilabile a doppia falda.

Analizzandole la geometria, l'intersezione con la torre d'angolo crea un punto di accumulo della neve.

Il carico della neve, se considerato trasversalmente rispetto lo sviluppo del blocco Nord con inclinazione delle falde (secondo le linee di massima pendenza) α_1 pari a 10° e α_2 15°, il coefficiente di forma per entrambe le falde (μ1 e μ2) risulta essere 0,8.

q_{sk} [kN/m²]	μ_1	μ_2	C_E	C_t
1,50	0,80	0,80	1	1

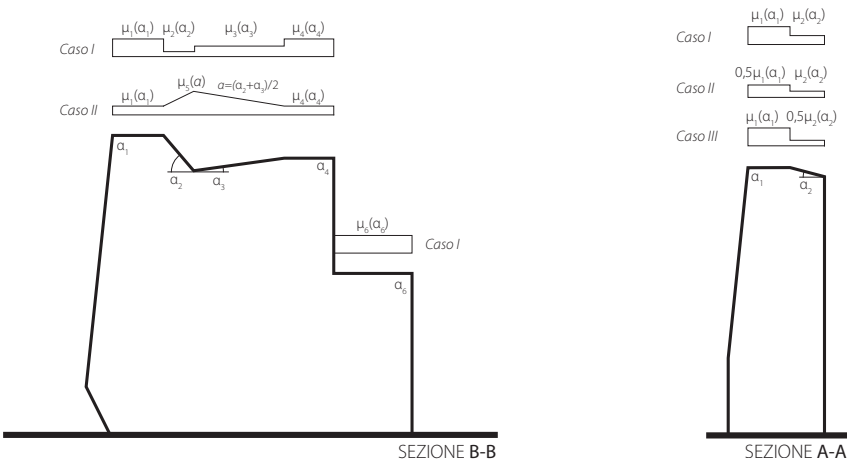


fig. 7.331 - *Condizioni di carico della neve. Sezione A-A (a destra) e B-B a (sinistra)*

Nello schema sono visibili gli andamenti delle copertura A e B ed i corrispettivi casi di carico previsti dalle NTC2008.

Da cui le combinazioni di carico in assenza (caso III) ed in presenza di vento (caso I e II):

Caso I	kN/m²	**Caso II**	kN/m²	**Caso III**	kN/m²
q_{s1}	0,60	q_{s1}	1,20	q_{s1}	1,20
q_{s2}	1,20	q_{s2}	0,60	q_{s2}	1,20

Allo scopo di valutare l'incidenza del punto critico di accumulo della neve, è stato considerato il comportamento longitudinale dalla copertura più sfavorevole, ovvero il caso di massima pendenza della falda della torre, ottenuto sezionando longitudinalmente il blocco Nord in corrispondenza del punto di altezza massima dell'edificio.

q_{sk} [kN/m²]	μ1	μ2	μ3	μ_4	μ_5	C_E	C_t
1,50	0,80	0,27	0,80	0,80	0,80	1	1

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi ottenuti secondo le NTC2008 in assenza (caso I) ed in presenza di vento (caso II):

Caso I	kN/m²	**Caso II**	kN/m²
q_{s1}	1,20	q_{s1}	1,20
q_{s2}	0,40	q_{s2}	1,20
q_{s3}	1,20	q_{s3}	1,20
q_s	1,20		

In questo caso, la situazione più sfavorevole si ottiene in presenza di vento.

L'analisi richiesta dalla normativa non considera il comportamento della copertura fuori dal piano di sezione. In questo caso, il carico ottenuto non è assimilabile ad un comportamento reale, in quanto il punto di accumulo è inclinato in direzione perpendicolare sviluppo della sezione, quindi, sarebbe opportuno apportare un coefficiente di forma maggiormente riduttivo.

In mancanza di normative relative a questo argomento ed a favore di sicurezza, il carico della neve in copertura è stato considerato pari a 1,20 kN/m².

Copertura C

Il comportamento della copertura del blocco Sud differisce da quello del blocco Nord appena discusso delle sole inclinazioni e dimensioni delle falde.

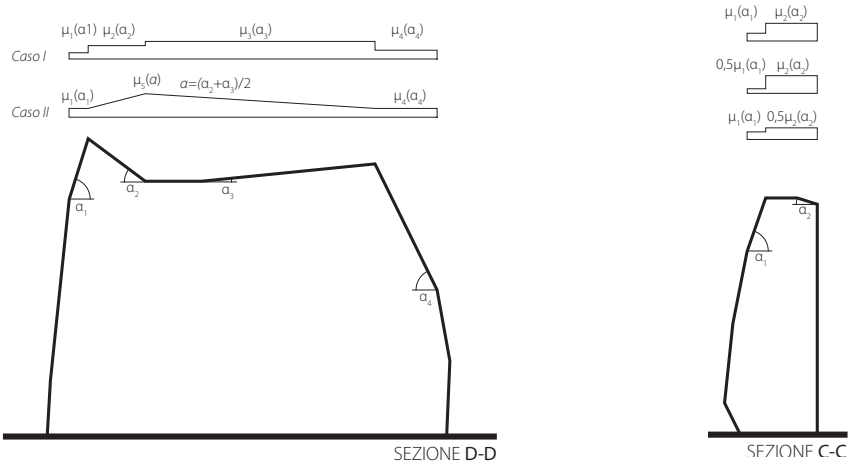


fig. 7.333 - *Condizioni di carico della neve. Sezione D-D (a sinistra) e C-C a (destra)*

Nello schema sono visibili gli andamenti della copertura C ed i corrispettivi casi di carico previsti dalle NTC2008.

Il carico della neve, se considerato trasversalmente rispetto lo sviluppo del blocco Sud con inclinazione delle falde (secondo le linee di massima pendenza) α_1 pari a 17° e α_2 7°, il coefficiente di forma per entrambe le falde (μ1 e μ2) risulta essere 0,8.

q_{sk} [kN/m²]	μ_1	μ_2	C_E	C_t
1,50	0,80	0,80	1	1

Di seguito sono riportate le combinazioni di carico in assenza (caso III) ed in presenza di vento (caso I e II):

Caso I	kN/m²	**Caso II**	kN/m²	**Caso III**	kN/m²
q_{s1}	0,60	q_{s1}	1,20	q_{s1}	1,20
q_{s2}	1,20	q_{s2}	0,60	q_{s2}	1,20

Con lo scopo di identificare l'incidenza dell'accumulo di neve al di sopra del vano scale, è stato considerato il comportamento longitudinale dalla copertura più sfavorevole, ovvero il caso di massima pendenza della falda della torre, ottenuto sezionando longitudinalmente il blocco Sud in corrispondenza del punto di altezza massima della falda della torre rivolta verso Sud.

q_{sk} [kN/m²]	μ1	μ2	μ3	μ_4	μ_5	C_E	C_t
1,50	0	0,77	0,80	0	0,80	1	1

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi ottenuti secondo le NTC2008 in assenza (caso I) ed in presenza di vento (caso II):

Caso I	kN/m²	**Caso II**	kN/m²
q_{s1}	0	q_{s1}	0
q_{s2}	1,15	q_{s2}	1,20
q_{s3}	1,20	q_{s3}	0
q_s	0		

In questo caso, la situazione più sfavorevole si ottiene in presenza di vento.

Anche in questo caso, in mancanza di normative relative a questo argomento ed a favore di sicurezza, il carico della neve in copertura è stato considerato pari a 1,20 kN/m².

Copertura D

La copertura del blocco *Kids Library* ha un comportamento assimilabile ad un tetto a due falde. Il calcolo dei coefficienti di forma considera le linee di massima pendenza delle falde e riduce a due le pendenze di calcolo, valutando la situazione più sfavorevole.

q_{sk} [kN/m²]	μ_1	μ_2	C_E	C_t
1,50	0,80	0,80	1	1

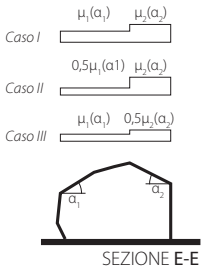


fig. 7.334 - *Condizioni di carico della neve. Sezione E-E*

Nello schema sono visibili gli andamenti della copertura D ed i corrispettivi casi di carico previsti dalle NTC2008.

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi ottenuti secondo le NTC2008 in assenza (caso III) ed in presenza di vento (caso I e II):

Caso I	kN/m²	**Caso II**	kN/m²	**Caso III**	kN/m²
q_{s1}	0,60	q_{s1}	1,20	q_{s1}	1,20
q_{s2}	1,20	q_{s2}	0,60	q_{s2}	1,20

Il caso più sfavorevole si riscontra in assenza di vento ed il carico da neve risulta essere assimilabile ad un carico distribuito pari a 1,20 kN/m².

7.6.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Stato limite di esercizio

Si definisce come Stato Limite di Esercizio (SLE) un qualsiasi stato, anche di danneggiamento locale al di là del quale non sono più soddisfatte le prestazioni necessarie per il corretto funzionamento in esercizio della struttura, anche in termini durabilità della struttura o di aspetto.

Lo stato limite di esercizio è definito come lo stato al superamento del quale corrisponde la perdita di una particolare funzionalità che condiziona o limita la prestazione dell'opera:

- danneggiamenti locali che possono ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto
- spostamenti e deformazioni che possono limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto
- spostamenti e deformazioni che possono compromettere l'efficienza o l'aspetto di elementi non strutturali, impianti e macchinari
- vibrazioni che possono compromettere l'uso della costruzione
- danni per fatica che possono compromettere la durabilità
- corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione

Allo scopo di verificare le membrature in acciaio componenti la struttura sono stati considerati carichi calcolati tramite la combinazione caratteristica (rara). Questa equazione generalmente definisce un carico impiegato nel calcolo degli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, ovvero permanenti ed ineliminabili per mezzo della soppressione della causa che le ha generate.

La combinazione SLE (rara) è descritta dalle NTC2008 come segue:

$$q_{SLE}=G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + y_{02}\cdot Q_{k2} + y_{03}\cdot Q_{k3}+\dots$$

dove:

G_1	carichi permanenti strutturali
G_2	carichi permanenti non strutturali
Q_{k1}	carico variabile dominante
Q_{ki}	ulteriori carichi variabili
Ψ_{0i}	coefficienti di combinazione che tengono conto della non contemporaneità dei carichi

Qualora siano presenti più carichi variabili si considera dominante il maggiore in modo da ottenere la combinazione più sfavorevole, mantenendosi quindi a favore di sicurezza.

tab. 7.55 - *Valore dei coefficienti di combinazione [NTC2008]*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Stato limite ultimo

Esso è associato al valore estremo della capacità portante o ad altre forme di cedimento strutturale che possono mettere in pericolo la sicurezza delle persone. Alcuni esempi delle cause che possono condurre allo Stato Limite Ultimo sono:

- perdita di stabilità di parte o dell'insieme della strutturarottura di sezioni critiche della struttura
- trasformazione della struttura in un meccanismo
- instabilità in seguito a deformazione eccessiva
- deterioramento in seguito a fatica
- deformazioni di fluage o fessurazioni, che producono un cambiamento di geometria tale da richiedere la sostituzione della struttura.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.

La combinazione fondamentale (SLU) è descritta dalle NTC2008 come segue:

$$q_{SLU}=\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + g_P\cdot P + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot\psi_{02}\cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot\psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

dove:

G_1 carichi permanenti strutturali
G_2 carichi permanenti non strutturali
Q_{k1} carico variabile dominante
Qki ulteriori carichi variabili
γ coefficienti parziali per le azioni
Ψ_{0i} coefficienti di combinazione che tengono conto della non contemporaneità dei carichi

Qualora siano presenti più carichi variabili si considera dominante il maggiore in modo da ottenere la combinazione più sfavorevole, mantenendosi quindi a favore di sicurezza.

tab. 7.56 - *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali[1]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Q}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

[1] Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nelle verifiche sezionale delle membrature in acciaio, si assume γ_{G1}=1,3, γ_{G2}=1,5, γ_{Qk}=1,5 poiché nelle configurazioni isostatiche utilizzate per il dimensionamento risultano essere tutti sfavorevoli.

7.7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA

7.7.1 SOLAIO INTERPIANO

Gli orizzontamenti de*l Cigno* sono costituiti da lamiere grecate con getto collaborante, i carichi di esercizio variabili a causa delle diverse funzioni che ognuno di questi deve sorreggere (copertura, residenza e mediateca) richiedono un dimensionamento e considerazioni diverse per ogni tipo di solaio.

La struttura a guscio fredda composta da pilastri inclinati verso Nord ed Est e da pilastri verticali verso Sud ed Ovest, non ha una corrispondenza geometrica in direzione trasversale all'edificio. Questa situazione consente di pensare il sistema solaio (travi principali, secondarie e lamiera grecata) come se fosse un elemento rigido 'autoportante' che deve quindi essere in grado di trasmettere rigidamente sia i carichi verticali che i carichi orizzontali ai pilastri, i quali a loro volta ridistribuiscono i carichi nel guscio attraverso un comportamento strutturale complesso di interazione tra i diversi elementi strutturali.

Una volta definiti i carichi forniti dalla normativa e dai sistemi tecnologici adottati, i materiali, scelti in funzione delle disponibilità di mercato, sostenibilità, prezzo, resistenza e dimensioni degli elementi, etc., rimane da valutare come progettare la geometria degli elementi strutturali al fine di garantire un'ottimizzazione delle dimensioni sezionali e distanze limitando al minimo l'impiego di materiale e rendendo generalmente più efficiente la struttura (velocizzando e facilitando le fasi di montaggio, di trasporto e movimentazione, migliorando il comportamento dinamico dell'edificio, riducendo i prezzi della struttura, etc.).

Predimensionamento

Il solaio delle residenze oltre a dover svolgere la funzione di portare i carichi fino alla struttura secondaria, deve essere adeguatamente rigido al fine di evitare i fastidiosi rumori da calpestio.

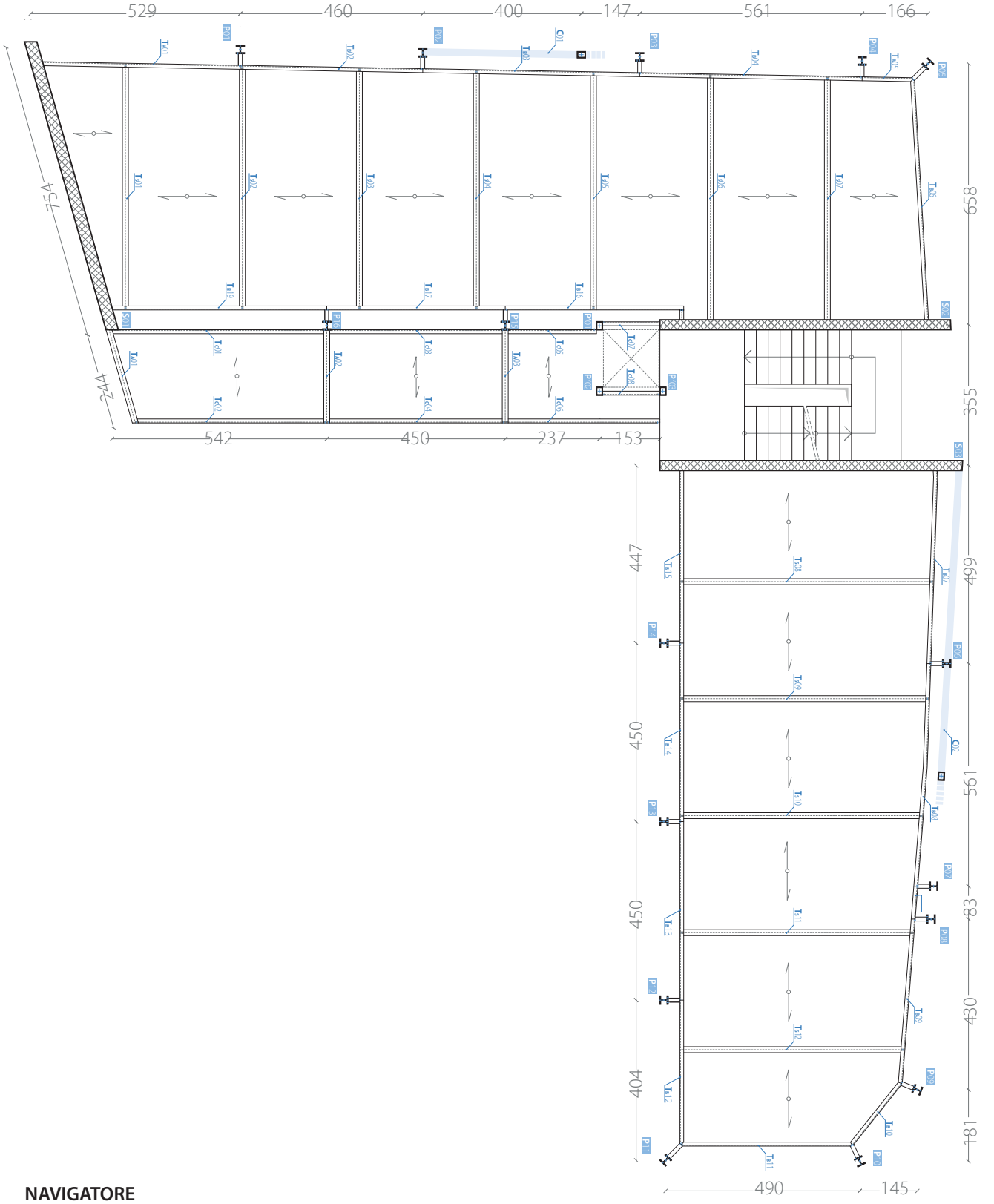
Il predimensionamento del solaio collaborante deriva da un analisi dei profili offerti dal produttore. Il produttore offre diverse tipologie di lamiere grecate per getti collaboranti le quali presentano impronte capaci di ancorare il getto, impendendo sia lo scorrimento longitudinale che il distacco verticale.

Tra gli elementi integrativi del solaio è prescritta la posa di una rete elettrosaldata di dimensioni Φ6 150x150 mm da porsi a 2 cm dall'estradosso del getto che svolge la funzione di ripartizione dei carichi, evitando fessurazioni.

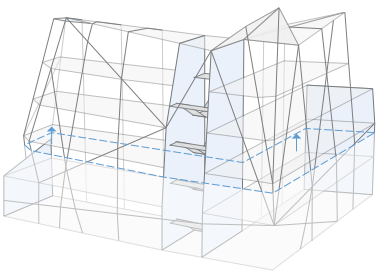
I materiali

Calcestruzzo		**classe**	**C20/25**
Tensione resistente di progetto a compressione	f_{cd}	1,13	kN/cm^2
Tensione resistente di progetto a taglio	t_{Rd}	0,025	kN/cm^2

Lamiera		**acciaio zincato**	**S280GD**
Tensione resistente caratteristica a trazione	f_{yp}	280	N/mm^2
tensione resistente di progetto a trazione	f_{dp}	255	N/mm^2



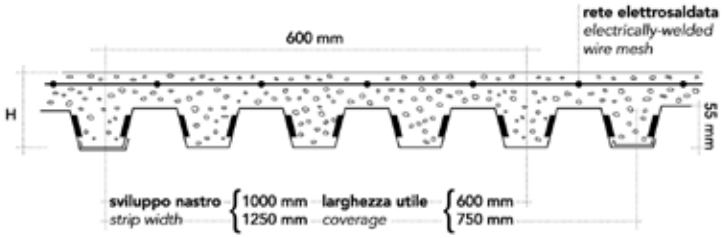
NAVIGATORE



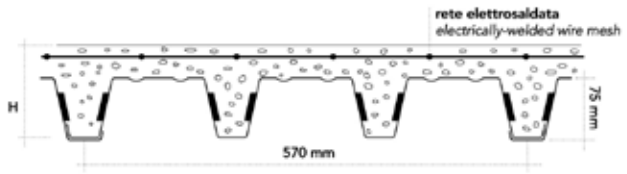
PIANTA STRUTTURALE

SCALA 1:200 PIANO 2°

Tra le informazioni del produttore riguardo alle diverse lamiere, non è presente il calcolo del peso del solaio completo di getto, quindi, al peso del profilo sono stati sommati il peso della rete elettrosaldata ipotizzato di 3 kg/m^2 ed il peso del calcestruzzo ottenuto considerando un peso specifico di 25 kN/m^3 ed il volume di calcestruzzo [m^3/m^2 di solaio] per ogni tipologia di solaio analizzata.



Lamiera grecata - **A**



Lamiera grecata - **B**

La lamiera di tipologia **A** analizzata presenta un volume di calcestruzzo pari a 0,08 m^3/m^2, un'altezza totale di 10,5 cm ed uno spessore della cappa di calcestruzzo di 5 cm.

tab. 7.58 - *Lamiera grecata collaborante tipologia A. [h=5,5+5 cm]*

Tipi di lamiera	sp. [mm]	L [m]	peso profilo [kg/m^2]	calcestruzzo C20/25	rete elettr. [kg/m^2]	carico tot [kN/m2]
a	0,70	2,45	9,16	1,91	3	5,83
b	0,80	2,60	10,47	1,91	3	5,85
c	1,00	2,87	13,08	1,91	3	5,87
d	1,20	3,08	15,70	1,91	3	5,90

Di seguito sono riportati i valori di portata forniti dal produttore utili per la scelta del profilo adeguato e dell'interasse delle travi secondarie.

tab. 7.59 - *Valori di portata del solaio collaborante (tipologia A)*

sp.	Sovraccarico di esercizio utile uniformemente distribuito kN/m2															*1 campata*
mm	*1,50*	*2,00*	*2,50*	*3,00*	*3,50*	*4,00*	*4,50*	*5,00*	*5,50*	*6,00*	*7,00*	*8,00*	*10,00*	*12,00*	*15,00*	*20,00*
	Luce massima in m per solai															
0,70	2,40	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,39	2,26	2,01	1,81	1,53	1,34	1,15	0,94
0,80	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,37	2,14	1,82	1,60	1,37	1,13
1,00	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,68	2,43	2,08	1,83	1,58	1,31
1,20	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	2,90	2,64	2,26	1,99	1,72	1,43

La lamiera di tipologia **B** ha un volume di calcestruzzo pari a 0,07 m^3/m^2, un'altezza totale di 12 cm ed uno spessore della cappa di calcestruzzo di 5 cm.

tab. 7.60 - *Lamiera grecata collaborante tipologia B. [h=7,5+5 cm]*

Tipi di lamiera	sp. [mm]	L [m]	peso profilo [kg/m²]	calcestruzzo C20/25	Rete ettr. [kg/m²]	carico tot [kN/m2]
e	0,70	2,92	9,64	1,58	3	5,52
f	0,80	3,12	11,02	1,58	3	5,53
g	1,00	3,35	13,77	1,58	3	5,56
h	1,20	3,55	16,53	1,58	3	5,59

Di seguito sono riportati i valori di portata forniti dal produttore utili per la scelta del profilo adeguato e dell'interasse delle travi secondarie.

tab. 7.61 - *Valori di portata del solaio collaborante (tipologia B)*

sp.	Sovraccarico di esercizio utile uniformemente distribuito kN/m2															*1 campata*
mm	*1,50*	*2,00*	*2,50*	*3,00*	*3,50*	*4,00*	*4,50*	*5,00*	*5,50*	*6,00*	*7,00*	*8,00*	*10,00*	*12,00*	*15,00*	*20,00*
	Luce massima in m per solai															
0,70	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	0,92	2,68	2,48	2,32	2,18	1,96	1,79	1,54	1,37	1,18	0,94
0,80	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,12	2,86	2,65	2,48	2,33	2,09	1,91	1,65	1,46	1,27	1,00
1,00	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	3,35	3,08	2,86	2,68	2,53	2,28	2,08	1,80	1,60	1,35	1,01
1,20	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,55	3,27	3,04	2,85	2,69	2,43	2,22	1,93	1,69	1,35	1,01

Al fine di evitare che le travi secondarie supportino campate asimmetriche, sono state considerate diverse configurazioni in modo che ognuna di esse abbia la stessa area di influenza. Dividendo in segmenti di pari lunghezza il solaio perpendicolarmente all'andamento delle travi primarie, sono state considerate le seguenti 3 conformazioni:

- 6 travi secondarie interasse 2,50 cm
- 5 travi secondarie interasse 2,95 cm
- 4 travi secondarie interasse 3,55 cm

7.7.2 TRAVI SECONDARIE

Predimensionamento

Le travi secondarie, connesse per mezzo di unioni bullonate alle travi perimetrali primarie, hanno una luce massima di 7 m e consistono in profilati **IPE300** in acciaio strutturale. Considerando le possibili diverse conformazioni delle travi in funzione della portata della lamiera grecata collaborante, sono state analizzate le combinazioni capaci di resistere ad un carico di progetto stimato pari a 3,81 kN/m^2.

La risposta meccanica di una struttura in acciaio, a causa del comportamento duttile del materiale, soffre di forti deformazioni che pure rimanendo in campo elastico, possono compromettere l'estetica del manufatto o, peggio, l'integrità dei materiali di finitura.

In funzione di questa caratteristica, il predimensionamento delle travi è stato calcolato considerando come limite non quello del collasso della sezione resistente, ma la deformazione del sistema. Quindi, il calcolo della deformazione massima, ovvero la frecca d'inflessione in mezzeria dello schema statico appoggio-appoggio.

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

dove:

f	freccia d'inflessione in mezzeria [mm]
p	carico sollecitante [kN/m]
l	luce d'inflessione
E	modulo elastico dell'acciaio [kN/cm^2]
I_y	inerzia flessionale della trave lungo l'asse dell'anima

La normativa NTC2008 fornisce i limiti in termini di deformabilità in funzione del tipo di elemento tecnico, in questo caso lo spostamento nello stato finale, dovuto all'intera combinazione di carichi, non deve superare l/250, ovvero lo spostamento in mezzeria in condizioni di esercizio deve essere inferiore di 28 mm.

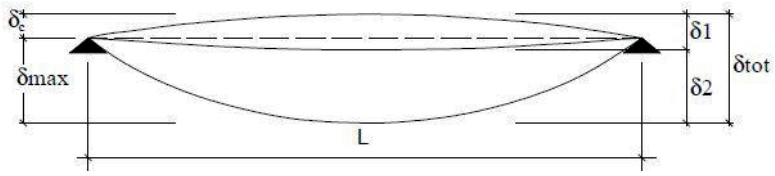
Parallelamente, anche lo spostamento elastico dovuto ai soli carichi variabili deve essere inferiore a l/300, ovvero inferiore a 23 mm.

tab. 7.62 - *Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie [NTC2008]*

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Lo schema secondo il quale si impongono i limiti di deformabilità è il seguente:



dove:

δC	è la monta iniziale della trave
δ_1	è lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti
δ_2	è lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili
δ_{max}	è lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale ovvero $\delta_{tot} - \delta C$, dovuto all'intera combinazione di carichi
δ_{tot}	$\delta_1 + \delta_2$

La scelta dei profili adeguati per resistere ai carichi richiesti è stata presa considerando il minore tra le due inerzie (come limite inferiore) ottenute invertendo l'espressione della freccia.

$$Iy = \frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot l^4}{E \cdot f\delta_{max}} \qquad Iy = \frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot l^4}{E \cdot f\delta 2}$$

Di seguito è riportato il calcolo delle inerzie teoriche minime necessarie a supportare i carichi di esercizio. La scelta dei profili è stata effettuata per approssimazione e minimizzando il peso di acciaio necessario a supportare il carico (lamiera grecata collaborante e travi secondarie).

tab. 7.63 - *Predimensionamento delle travi secondarie*

Scenario 1		*Interasse delle travi secondarie 2,50 m 6 travi*				
Tipologia Lamiera		**sp. [mm]**	**carichi q [kN/m]**	**Iy [cm4]**	**Profilo IPE**	**peso solaio [kg di acciaio]**
A	*a*	*0,70*	14,44	6860	IPE300A	336,45
	b	*0,80*	14,47	6875	IPE300A	337,96
	c	*1,00*	14,54	6906	IPE300A	340,96
	d	*1,20*	14,60	6936	IPE300A	343,97
B	*e*	*0,70*	14,37	6824	IPE300A	332,92
	f	*0,80*	14,40	6840	IPE300A	334,50
	g	*1,00*	14,47	6872	IPE300A	337,67
	h	*1,20*	14,53	6904	IPE300A	340,84

Scenario 2		*Interasse delle travi secondarie 2,95 m 5 travi*				
Tipologia Lamiera		**sp. [mm]**	**carichi q [kN/m]**	**Iy [cm4]**	**Profilo IPE**	**peso solaio [kg di acciaio]**
A	*d*	*1,20*	17,23	8185	IPE300	325,63
	e	**0,70**	**16,95**	**8052**	**IPE300**	**314,57**
B	*f*	*0,80*	16,99	8071	IPE300	316,16
	g	*1,00*	17,07	8109	IPE300	319,32
	h	*1,20*	17,15	8147	IPE300	322,50

Scenario 3		Interasse delle travi secondarie 3,55 m 4 travi				
Tipologia Lamiera		sp. [mm]	carichi q [kN/m]	Iy [cm4]	Profilo IPE	peso solaio [kg di acciaio]
B	h	1,20	21,00	9804	IPE330A	304,20

La scelta dei profili che compongono l'impalcato è stata effettuata analizzando la combinazione ottimale tra le tipologie di lamiera grecata ed il passo e la sezione delle travi secondarie. Considerando il quantiativo di acciaio calcolato per ogni combinazione necessario a supportare i carichi di esercizio, utilizzando una lamiera grecata di tipologia B con spessore 0,70 e travi secondarie IPE300.

Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Flessione monoassiale

Affinchè l'elemento strutturale risulti verificato a flessione, la seguente disugaglianza deve essere rispettata:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

M_{Ed} è il momento flettente di calcolo
$M_{c,Rd}$ è il momento resistente della sezione

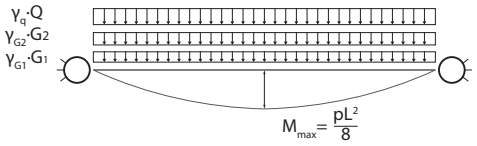
I profilo scelto è in classe 1, ovvero la sezione del profilo è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico senza subire riduzioni della resistenza. In questo caso la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}\, f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

dove:

γ_{M0} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;
f_{yk} è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento
W_{pl} è il modulo di resistenza plastica

Considerando l'unione bullonata di connessione delle membrature secondarie alle primarie con un comportamento assimilabile ad una cerniera, lo schema statico della trave secondaria è riconducibile ad un'asta caricata un'uniformmente appoggiata agli estremi.



Sulla base di queste considerazioni, il momento agente sulla trave risulta essere:

$$M_{Ed} = M_{max} = M\left(x = \frac{L}{2}\right) = \frac{pL^2}{8}$$

dove:

p è la combinazione di carichi riferita allo stato limite ultimo, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse

L è la luce coperta dalla trave

La verifica a flessione monoassiale delle travature secondarie è stata effettuata come segue:

tab. 7.64 - *Verifica a flessione monoassiale delle travi secondarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo**			
Tipo di trave	IPE300	***q***		*kN/m*	*CdS (γ)*
Iy [cm4]	8356	*G1*		6,28	1,30
n° travi	5	*G2*		5,27	1,50
i [m]	2,95	*Q*		5,90	1,50
luce [m]	6,80	**Verifica a flessione** [kNm]			
E [kN/cm2]	21000	*Momento agente*	M_{ed}	144,07	Med/Mc,Rd
fyk [N/mm2]	355	*Momento resistente*	M_{Rd}	212,46	0,68

Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante (V_{Ed}) deve rispettare la seguente disuguaglianza:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

V_{Ed} è il taglio agente sulla sezione

$V_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione

La resistenza di calcolo a taglio ($V_{c,Rd}$) vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \, f_{yk}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

dove Av è l'area resistente a taglio, che vale:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

dove:

A è l'area lorda della sezione del profilo,

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave

h_w è l'altezza dell'anima

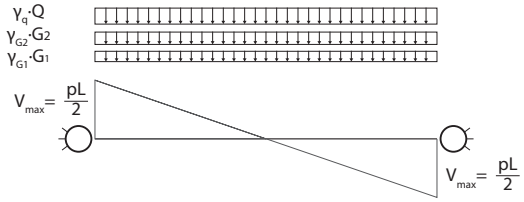
h è l'altezza delle sezioni cave

r è il raggio di raccordo tra anima ed ala

t_f è lo spessore delle ali

t_w è lo spessore dell'anima

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} a cui si fa riferimento, è, come per il momento flettente, il valore massimo della sollecitazione che agisce sull'elemento strutturale in esame. Per una trave in appoggioappoggio uniformemente caricata, il diagramma delle azioni taglianti assume la seguente distribuzione:



in cui i valori massimi di taglio risultano agenti sulle due sezioni estremali della trave:

$$V_{Ed} = V_{max} = V(x = 0) = V(x = L) = \frac{pL}{2}$$

dove:

p è la combinazione di carichi riferita allo stato limite ultimo, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse

L è la luce coperta dalla trave

Sulla base di queste considerazioni, le verifiche a taglio delle travature secondarie è stata effettuata come segue:

tab. 7.65 - *Verifica a taglio delle travi secondarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo**			
Tipo di trave	IPE300	***q***		kN/m	Coefficienti di sicurezza (γ)
Iy [cm4]	8356	*G1*		6,28	1,30
n° travi	5	*G2*		5,27	1,50
i [m]	2,95	*Q*		5,90	1,50
luce [m]	6,80	**Verifica a taglio** [kN]			
E [kN/cm2]	21000	*Taglio agente*	V_{ed}	84,75	Med/Mc,Rd
fyk [N/mm2]	355	*Taglio resistente*	V_{Rd}	501,27	0,17

Flessione e taglio

L'influenza del taglio sulla resistenza a flessione è da tenere in considerazione nel caso in cui il taglio di calcolo V_{Ed} sia superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$.

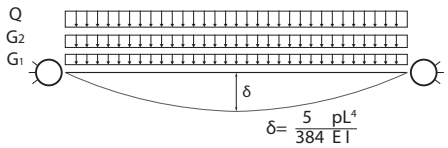
$$V_{Ed} \geq 0{,}5\ V_{c,Rd}$$

Nella condizione in cui il taglio agente sia inferiore alla metà del taglio resistente è possibile trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Verifiche allo Stato Limite di Esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio pone dei vincoli sulla deformabilità dell'elemento strutturale posto in normali condizioni di esercizio, ipotizzandosi lontani dalla situazione di collasso della struttura.

Per una trave in appoggio-appoggio uniformemente caricata, vale la seguente relazione:



dove:

δ	è la freccia in mezzeria, ovvero, lo spostamento massimo che, sotto l'azione di una carico uniforme, subisce una trave appoggiata
p	è la combinazione di carichi riferita allo stato limite di esercizio, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse
L	è la luce coperta dalla trave
E	è il modulo elastico dell'acciaio
Iy	è l'inerzia della sezione

La verifica allo Stato Limite di Esercizio deve considerare le condizioni di carico per cui si ha una deformazione dell'elemento analizzato.

Al fine di garantire il rispetto dei vincoli normativi di deformabilità, è necessario considerare la condizione di deformazione dovuta ai carichi in esercizio e la condizione in cui vengono considerati solamente i carichi variabili.

Come descritto nel paragrafo relativo al predimensionamento delle travi secondarie, la verifica a deformabilità è stata eseguita considerando due condizioni di carico:

- deformazione in seguito all'applicazione dei carichi in esercizio
- deformazione dovuta ai soli carichi variabili

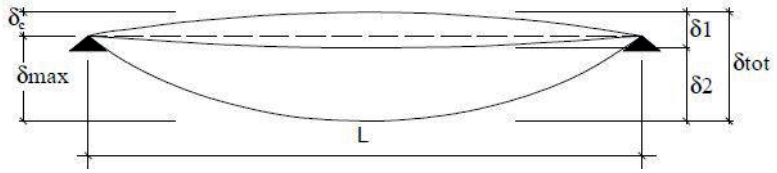
tab. 7.66 - *Verifica a deformabilità delle travi secondarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio**			
Tipo di trave	IPE300	*q*			*kN/m*
Iy [cm4]	8356	*G1*			6,28
n° travi	5	*G2*			5,27
i [m]	2,95	*Q*			5,90
luce [m]	6,80	**Verifica a deformabilità** [mm]			
E [kN/cm2]	21000	*Freccia totale*	δ_{tot}	27,69	<28
fyk [N/mm2]	355	*Freccia carichi variabili*	δ_2	9,36	<23

7.7.3 TRAVI PRIMARIE

Analogamente al caso delle travi secondarie il predimensionamento delle travi principali avviene basandosi sulla deformabilità, e quindi a partire dalla freccia.

Come già spiegato precedentemente lo schema secondo il quale si impongono i limiti di deformabilità è il seguente:



dove:

δC è la monta iniziale della trave

δ_1 è lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti

δ_2 è lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili

δ_{max} è lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale ovvero $\delta_{tot} - \delta C$, dovuto all'intera combinazione di carichi

δ_{tot} $\delta_1 + \delta_2$

I limiti imposti dalla normativa sono descritti dalla tabella seguente.

tab. 7.67 - *Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie [NTC2008]*

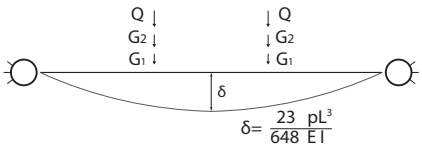
Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	1/200	1/250
Coperture praticabili	1/250	1/300
Solai in generale	1/250	1/300
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	1/250	1/350
Solai che supportano colonne	1/400	1/500
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	1/250	
In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.		

La geometria dell'impalcato prevede una distribuzione a cascata del carico: i carichi si distribuiscono uniformemente dall'impalcato in lamiera grecata collaborante alle travi secondarie, poi alle travi principali ed infine viene trasmesso ai pilastri che scaricano a terra attraverso le fondazioni.

Essendo la geometria delle travi principali non regolare, è stata analizzata la configurazione più sfavorevole, considerando una luce massima di 5,50 m e due carichi delle travi secondarie applicati ad 1/3 della luce.

Le reazioni vincolari delle travi secondarie che si distribuiscono sulle primarie sono pari a 59,34 kN.

Lo schema statico a cui si fa riferimento allo scopo di calcolare l'inerzia teorica minima per la scelta dei profili è il seguente:



dove:

δ è la freccia in mezzeria, ovvero, lo spostamento massimo che, sotto l'azione di una carico uniformesubisce una trave appoggiata

p è la combinazione di carichi riferita allo stato limite di esercizio, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse

L è la luce coperta dalla trave

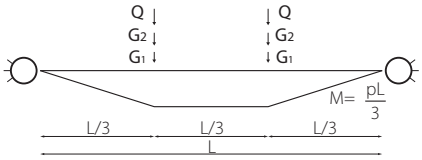
E è il modulo elastico dell'acciaio

I_y è l'inerzia della sezione

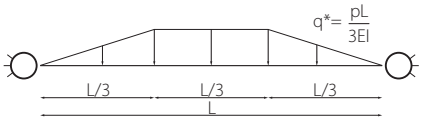
Tale valore di freccia e quindi di I_y sono stati ricavati mediante l'utilizzo del corollario di Mohr costruendo un modello fittizio di trave appoggio-appoggio sottoposta ad un carico distribuito q*=M/EI , dove E è il modulo elastico e I è l'inerzia della sezione.

La freccia della struttura reale corrisponde al momento della trave fittizia f=M*.

Partendo dallo schema statico reale sopra descritto è stato calcolato il momento flettente massimo.



Una volte calcolato il momento flettente dello schema statico reale, è possibile definire lo schema fittizio caratterizzato da un carico distribuito che segue l'andamento del momento con valore di carico q*=M/EI, dove E è il modulo elastico e I_y è l'inerzia della sezione. Lo schema fittizio ottenuto è quindi:



Il momento massimo di tale schema statico fittizio sarà quindi ad L/2 ed avrà un valore di M*=23/648 (PL^3/EI). Una volta calcolato tale momento si ottiene la freccia dello schema statico reale dalla relazione f=M*.

invertendo l'equazione della freccia allo scopo di ricavare l'incognita I_y si ottine il predimensionamento delle travi secondarie I_y=23/648 (PL^3/Ef). Considerando la freccia f limite descritta dalla NTC2008 si ottiene:

$$I_y = 23/648 \cdot \min[(P_{SLE}L^3/E\delta_{max});(P_{QSLE}L^3/E\delta_2)]$$

tab. 7.68 - *Predimensionamento delle travi primarie*

Analisi dei carichi	*riferiti a metà trave secondaria*	
	Carichi permanenti strutturali	
area d'influenza	9,23	m^2
peso solaio	1,96	kN/m^2
G1 solaio	18,08	*kN*
peso trave secondaria	0,41	*kN/m*
lunghezza trave sec.	3,13	*m*
G1 trave secondaria	1,30	*kN*
	Carichi permanenti non strutturali	
area d'influenza	9,23	m^2
peso stratigrafia	1,79	kN/m^2
G2 solaio	16,50	*kN*
	Carichi variabili	
area d'influenza	9,23	m^2
affollamento	2,00	kN/m^2
Q	18,46	*kN*

Predimensionamento			*IPE300*			*UPN300*		
$p_{1,2\ SLE}$	54,33	kN	*Iy*	8356,00	cm^4	*Iy*	8030,00	cm^4
$I_{y\ teorica}$	6945	cm^4	*peso kN/m*	0,414	kN/m	*peso kN/m*	0,453	kN/m

Il predimensionamento delle travi primarie mostra la possibilità di utilizzare due differenti profili. Allo scopo di semplificare il montaggio delle chiusure perimetrali, il profilo adottato è **UPN300**.

Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Flessione monoassiale

Analogamente alla verifica effettuata per le trave secondarie, affinchè l'elemento strutturale risulti verificato a flessione, la seguente disugaglianza deve essere rispettata:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

M_{Ed} è il momento flettente di calcolo
$M_{c,Rd}$ è il momento resistente della sezione

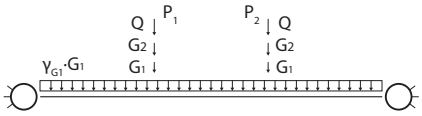
I profilo scelto è in classe 1, ovvero la sezione del profilo è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico senza subire riduzioni della resistenza. In questo caso la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}\ f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

dove:

γ_{M0} è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;
f_{yk} è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento
W_{pl} è il modulo di resistenza plastica

Considerando l'unione bullonata di connessione delle membrature principali alle in Glass Reinforced Plastic con un comportamento assimilabile ad una cerniera, lo schema statico della trave secondaria è riconducibile ad un'asta caricata un'uniformmente appoggiata agli estremi per quanto riguarda il peso proprio e, considerando il carico anche il carico delle travi secondarie lo schema di carico è il seguente.



Sulla base di queste considerazioni, il momento agente riferito al carico proprio risulta essere:

$$M_{Ed} = M_{max} = M\left(x = \frac{L}{2}\right) = \frac{pL^2}{8}$$

Ed il momento agente riferito ai carichi concentrati delle travi secondarie risulta essere:

$$M_{Ed} = M_{max} = M\left(x = \frac{L}{2}\right) = \frac{p\,L}{3}$$

Per il principio di sovrapposizione degli effetti, il momento agente risulta essere la somma di questi due momenti. Quindi, considerando i carichi amplificati secondo i corrispettivi coefficienti di sicurezza, di seguito è riportata la tabella di verifica delle membrature primarie a flessione.

tab. 7.69 - *Verifica a flessione monoassiale delle travi primarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo**		
Tipo di trave	UPN300	***p1,p2***	*kN*	*CdS (γ)*
Iy [cm4]	8030	*G1*	25,18	1,30
peso [kN/m]	0,45	*G2*	24,75	1,50
luce [m]	5,50	*Q*	27,69	1,50
E [kN/cm2]	21000	***q***	*kN/m*	*CdS (γ)*
fyk [N/mm2]	355	*G1*	0,59	1,3
Classe	1	**Verifica a flessione** [kNm]		
		Momento agente	M_{ed} 140,30	Med/Mc,Rd
		Momento resistente	M_{Rd} 271,93	0,52

Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante (V_{Ed}) deve rispettare la seguente disuguaglianza:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

V_{Ed} è il taglio agente sulla sezione

$V_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione

La resistenza di calcolo a taglio ($V_{c,Rd}$) vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \, f_{yk}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

dove Av è l'area resistente a taglio, che vale:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

dove:

A è l'area lorda della sezione del profilo,

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave

h_w è l'altezza dell'anima

h è l'altezza delle sezioni cave

r è il raggio di raccordo tra anima ed ala

t_f è lo spessore delle ali

t_w è lo spessore dell'anima

Il valore di calcolo dell'azione tagliante (V_{Ed}) a cui si fa riferimento, è, come per il momento flettente, il risultato dell'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti e quindi la somma del taglio massimo ottenuto nel caso dello schema statico appoggio-appoggio con peso proprio della trave uniformemente distribuito e taglio massimo ricavato da una trave appoggio-appoggio caricata puntualmente con le reazioni vincolari proprie delle travi secondarie.

Nel primo caso riferito al peso proprio della trave considerato quindi come un carico distribuito, il valore del taglio massimo risulta essere:

$$V_{Ed} = V_{max} = V(x = 0) = V(x = L) = \frac{pL}{2}$$

Nel secondo caso, invece, in cui si considerano i carichi concentrati delle travi secondarie sulle primarie

$$V_{Ed} = V_{max} = V(x = 0) = V(x = L) = p$$

p è la combinazione di carichi riferita allo stato limite ultimo, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse

L è la luce coperta dalla trave

Sulla base di queste considerazioni, la verifica a taglio delle travature primarie è stata effettuata come segue:

tab. 7.70 - *Verifica a taglio delle travi primarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo**			
Tipo di trave	UPN300	***p1,p2***		*kN*	*CdS (γ)*
Iy [cm4]	8030	*G1*		25,18	1,30
peso [kN/m]	0,45	*G2*		24,75	1,50
luce [m]	5,50	*Q*		27,69	1,50
E [kN/cm2]	21000	***q***		*kN/m*	*CdS (γ)*
fyk [N/mm2]	355	G1		0,59	1,3
Classe	1	**Verifica a taglio** [kN]			
		Taglio agente	M_{ed}	76,70	$V_{ed}/V_{pl,Rd}$
		Taglio resistente	M_{Rd}	601,46	0,13

Flessione e taglio

L'influenza del taglio sulla resistenza a flessione è da tenere in considerazione nel caso in cui il taglio di calcolo V_{Ed} sia superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$.

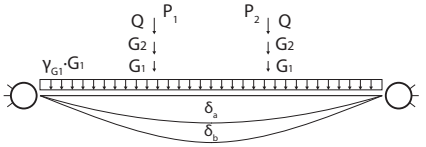
$$V_{Ed} \geq 0{,}5\ V_{c,Rd}$$

Nella condizione in cui il taglio agente sia inferiore alla metà del taglio resistente è possibile trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Verifiche allo Stato Limite di Esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio pone dei vincoli sulla deformabilità dell'elemento strutturale posto in normali condizioni di esercizio, ipotizzandosi lontani dalla situazione di collasso della struttura.

In questo caso è necessario considerare la deformabilità dovuta ai diversi carichi gravanti sulla struttura, in particolare il peso proprio ed il peso dovuto alle travi secondarie.



$$\delta_a = \frac{23}{648}\frac{pL^3}{EI}$$

$$\delta_b = \frac{5}{384}\frac{pL^4}{EI}$$

dove:

δ	è la freccia in mezzeria, ovvero, lo spostamento massimo che, sotto l'azione di una carico uniforme, subisce una trave appoggiata
p	è la combinazione di carichi riferita allo stato limite di esercizio, comprensiva del peso proprio strutturale dell'elemento, e linearizzata sull'interasse
L	è la luce coperta dalla trave
E	è il modulo elastico dell'acciaio
Iy	è l'inerzia della sezione

Anche in questo caso, con l'ausilio del principio di sovrapposizioned egli effetti è possibile considerare i due schemi di carico separatamente e sommarne gli effetti.

La verifica allo Stato Limite di Esercizio deve considerare le condizioni di carico per cui si ha una deformazione dell'elemento analizzato.

Al fine di garantire il rispetto dei vincoli normativi di deformabilità, è necessario considerare la condizione di deformazione dovuta ai carichi in esercizio e la condizione in cui vengono considerati solamente i carichi variabili.

Come descritto nel paragrafo relativo al predimensionamento delle travi secondarie, la verifica a deformabilità è stata eseguita considerando due condizioni di carico:

- deformazione in seguito all'applicazione dei carichi in esercizio
- deformazione dovuta ai soli carichi variabili

tab. 7.71 - *Verifica a deformabilità delle travi primarie*

Caratteristiche dei profili		**Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio**		
Tipo di trave	UPN300	***p1,p2***	*kN*	
Iy [cm4]	8030	*G1*	19,37	
peso [kN/m]	0,45	*G2*	16,50	
luce [m]	5,50	*Q*	18,46	
E [kN/cm2]	21000	***q***	*kN/m*	
fyk [N/mm2]	355	G1	0,45	
Classe	1	**Verifica a deformabilità** [mm]		
		Freccia totale	δ_{tot} 19,03	<22
		Freccia carichi variabili	δ_2 6,46	<18

7.7.4 MODELLO STRUTTURALE AD ELEMENTI FINITI [FEM]

Lo schema strutturale del guscio esterno composto da profili verticali e controventi è caratterizzato da una maglia irregolare sia in alzato che in pianta.

Questa particolarità rende molto complesso e laborioso il calcolo delle aree d'influenza di ogni singola connessione con gli orizzontamenti. Allo scopo di effettuare un calcolo preciso ed apportare modifiche volte all'ottimizzazione della struttura, è stato necessario realizzare un modello strutturale capace di rispondere alle esigenze di progetto.

Il metodo ad elementi finiti

La modellazione ad elementi finiti (FEM) permette di approssimare un problema descritto da equazioni differenziali a derivate parziali (PDE) con un problema che presenta un numero finito di parametri incogniti, mediante una discretizzazione del problema originario.

Questo metodo è utilizzabile per l'analisi di corpi fisici suscettibili ad essere suddivisi in un certo numero, anche molto grande, di elementi di forma definita e dimensioni contenute. Nel continuum, ogni singolo elemento finito viene considerato un campo di integrazione numerica di caratteristiche omogenee. La caratteristica principale del metodo degli elementi finiti è la discretizzazione attraverso la creazione di una griglia (mesh) composta da primitive (elementi finiti) di forma codificata (triangoli e quadrilateri per domini bidimensionali, esaedri e tetraedri per domini tridimensionali).

Su ciascun elemento caratterizzato da questa forma elementare, la soluzione del problema è assunta essere espressa dalla combinazione lineare di funzioni dette funzioni di base o funzioni di forma (shape functions). La metodologia di calcolo si presta per la risoluzione di problemi basati su leggi costitutive di tipo lineare come ad esempio il rapporto tra sforzi e deformazione in campo elastico di una struttura.

Il metodo degli elementi finiti fa parte della classe del metodo di Galërkin, il cui punto di partenza è la cosiddetta formulazione debole di un problema differenziale. Questa formulazione, basata sul concetto di derivata nel senso delle distribuzioni, di integrale di Lebesgue e di media pesata (mediante opportune funzioni dette funzioni test), ha il grande pregio di richiedere alla soluzione caratteristiche di regolarità realistiche per molti problemi ingegneristici ed è pertanto uno strumento descrittivo molto utile.

I metodi di tipo Galërkin si basano sull'idea di approssimare la soluzione del problema scritto in forma debole mediante combinazione lineare di funzioni (le shape functions) elementari. I coefficienti di tale combinazione lineare (detti anche gradi di libertà) diventano le incognite del problema algebrico ottenuto dalla discretizzazione.

Utilizzato per il calcolo strutturale, questo procedimento è suddividibile in due fasi: la modellizzazione e la discretizzazione

La modellizzazione

Questa fase consiste nel passaggio dal sistema fisico ad un modello matematico che semplifica alcuni aspetti di interesse del sistema fisico, focalizzando l'attenzione su poche variabili aggregate e filtrando le rimanenti.

Ad esempio nel calcolo del momento flettente di una trave non si prendono in considerazione le interazioni a livello molecolare. Il sistema fisico se complesso viene suddiviso in sottosistemi appartenenti ad un sistema più complesso. Successivamente alla modellazione, il sottosistema viene suddiviso in elementi finiti ai quali viene applicato un modello matematico. A differenza delle trattazioni analitiche, è sufficiente che il modello matematico scelto sia adeguato alle geometrie semplici degli elementi finiti. La scelta di un tipo di elemento in un programma software equivale ad una scelta implicita del modello matematico che vi è alla base. L'errore che può portare l'utilizzo di un modello deve essere valutato con prove sperimentali, operazione in genere dispendiosa per tempo e risorse.

La discretizzazione

In una simulazione per via numerica è necessario passare da un numero infinito di gradi di libertà (condizione propria del continuum) ad un numero finito (situazione propria della mesh). La discretizzazione, nello spazio o nel tempo, ha lo scopo di ottenere un modello discreto caratterizzato da un numero finito di gradi di libertà. Viene inserito un errore dato dalla discordanza con la soluzione esatta del modello matematico. Questo errore può essere valutato opportunamente se esiste un modello matematico adeguato all'intera struttura (quindi preferibile da utilizzare rispetto all'analisi FEM) ed in assenza di errori numerici di calcolo, ciò può essere considerato vero utilizzando calcolatori elettronici.

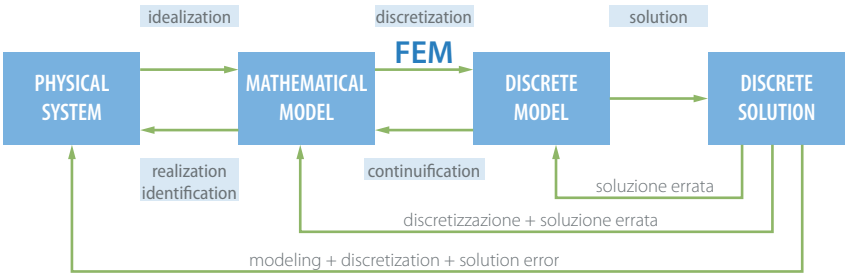


fig. 7.335 - *Schema concettuale del metodo ad elementi finiti (FEM)*

La geometria del modello

Un volta identificato il concept strutturale del Cigno ed i carichi con cui verrà sollecitato, è stato possibile elaborare un modello discretizzato al fine di analizzarlo ed ottenere un'ottimizzazione della struttura in termini di forma. A seguito dell'analisi è stato possibile ricavare le azioni interne di ogni elemento della struttura tramite le quali è stato possibile dimensionare le sezioni degli elementi componenti il guscio esterno secondo le prescrizioni delle NTC2008.

I software di analisi strutturale presenti sul mercato offrono non offrono la possibilità di modellare la struttura di edifici complessi. Il modello strutturale è quindi stato realizzato in un programma di modellizzazione tridimensionale, ovvero *Rhinoceros* di casa *Robert McNeel & Associates*.

Una volta identificati (in pianta) i passi della struttura razionalizzata, è stato possibile ottenere il modello discretizzato disegnando direttamente sull'involucro del *Cigno* precedentemente realizzato per la fase di ottimizzazione della forma, come descritto nel relativo capitolo. In questo modo abbiamo ottenuto una struttura che seziona verticalmente l'edificio, quindi è stato sufficiente proiettare le linee che rappresentano i pilastri su di un piano parallelo ai fronti Est e modificarne l'inclinazione per poi proiettarle nuovamente sull'involucro fino ad ottenere diverse conformazioni dei pilastri. Lo stesso processo è stato ripetuto per il fronte Nord.

La discretizzazione del modello prevedere tre elementi principali:

- i setti in calcestruzzo armato (ed il vano scale)
- gli orizzontamenti
- il telaio strutturale in acciaio

Il telaio in acciaio è stato rappresentato da degli elementi linea, mentre i setti e gli orizzontamenti sono stati modellati tramite il comando mesh.

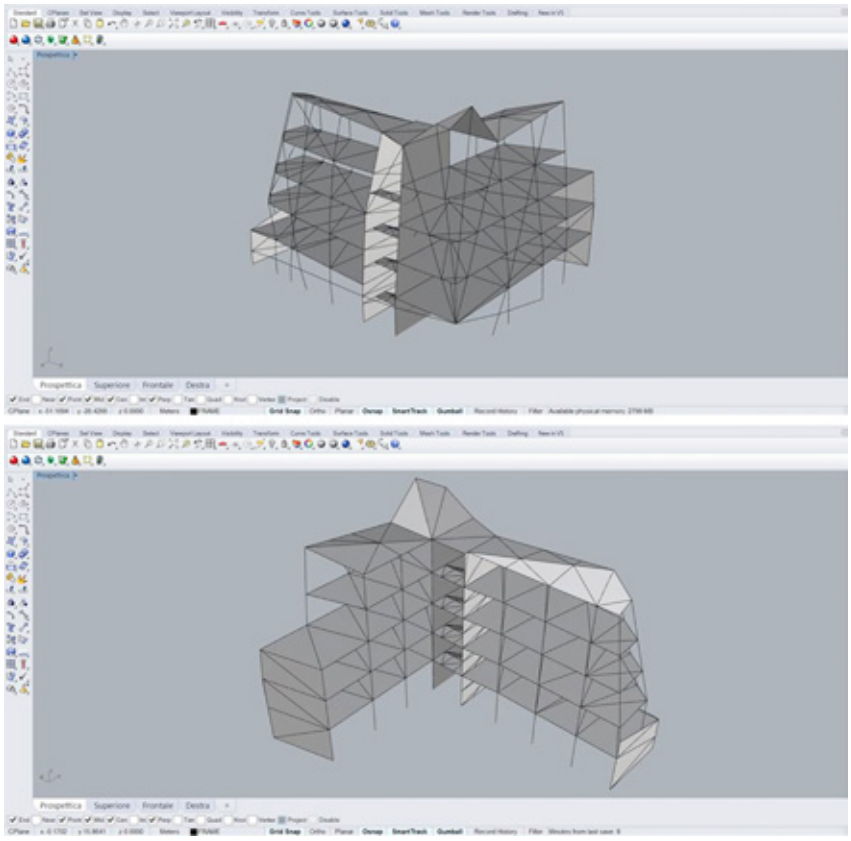


fig. 7.336 - *Viste del modello strutturale realizzato utilizzando il software Rhinoceros*

fig. 7.337 - *Logo del software Rhinoceros della casa di produzione Robert McNeel & Associates*

Le caratteristiche dei materiali

Il modello geometrico realizzato con *Rhinoceros* è stato successivamente esportato con l'estensione *.dxf* all'interno del software per il calcolo strutturale *SAP2000* di casa *CSi*.

All'interno di questo software sono stati impostate le caratteristiche meccaniche dei materiali che compongono la struttura:

- acciaio S355 ipotizzato per la realizzazione del guscio esterno e per le travi di bordo
- calcestruzzo C25/30 ipotizzato per i setti del vano scale e di controvento in testa alle porzioni di edificio ad L
- calcestruzzo C20/25 utilizzato per realizzare gli orizzontamenti (utile sono a fini di calcolo del peso proprio strutturale dei solai).

fig. 7.338 - *Parametri dei materiali utilizzati nell'analisi strutturale*

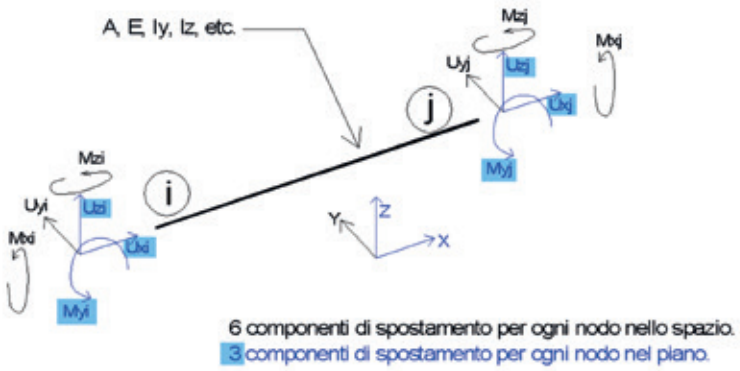
dall'alto al basso: acciaio S355, calcestruzzo C25/30, calcestruzzo C20/25

fig. 7.339 - *Logo del software Sap2000 della casa di produzione CSi*

Proprietà delle sezioni

Acciaio

L'intera struttura esterna realizzata in acciaio è rappresentata all'interno del software con un insieme di elementi chiamati *FRAME*. Questo termine è utilizzato per indicare una generica asta tridimensionale, che include gli effetti di deformazione assiale, taglio, torsione e momento flettente ed è definito da una linea retta che congiunge due punti nodali (joints).



Vi sono tre tipologie di elementi ai quali sono stati applicati sezioni, carichi e comportamenti diversi all'interno del sottogruppo *FRAME*:

pilastri. con questo termine vengono indicati tutti gli elementi pressochè verticali che compongono un telaio rigido in direzione trasversale all'edificio. Sono caratterizzati da un vincolo ad incastro alla base e da una geometria sezionale ad H. Sfruttando il processore di calcolo interno del programma, è stato possibile dimensionare questa tipologia di elementi.

controventi. questi elementi sono rappresentati da profili scatolari di dimensioni fisse 200x140 mm per i quali si prevede il dimensionamento dello spessore in base alle esigenze strutturali definite durante la fase di post-processing. Un'altra importante caratteristica sono le proprietà di *release* attribuite ad ogni profilo, ovvero tramite i pannelli di controllo *assign_frame_realeases/partial fixity* sono stati rilasciati i momenti flettenti 22 (minor) e 33 (major) ed i momenti torcenti allo scopo di ottenere un comportamento a biella di questi elementi (secondo lo schema di quadrilatero articolato discusso precedentemente).

travi primarie. le travature di bordo, sono state predimensionate con un foglio di calcolo excel rispettando la distribuzione a cascata dei carichi (solaio_travi secondarie_travi principali). Lo scopo di questi elementi è distribuire i carichi propri strutturali delle travi ed il peso delle pareti perimetrali dalle estremità delle travi ai pilastri senza la necessità di calcolare le aree di influenza in ciascun nodo.

Calcestruzzo

Per quanto riguarda i setti in calcestruzzo armato, la struttura è stata rappresentata da elementi *SHELL* che consistono in un elemento bidimensionale al quale è possibile attribuire un comportamento a piastra (regime di sforzi flettenti), a membrana (solo sforzi nel piano dell'elemento, N, T) o guscio (somma dei due). Allo scopo di trascurare le deformazioni di taglio (piastre di Kirchhoff), sono stati impostati per tutti gli elementi in calcestruzzo la tipologia *Shell Thin*.

I setti in calcestruzzo armato sono suddivisi in tre tipologie:

setti. gli elementi *SHELL* che compongono la parte di struttura analizzata sono costituiti da un calcestruzzo 25/30 e sono in grado di deformarsi in base sia agli sforzi paralleli che perpendicolari al loro sviluppo. La sezione ipotizzata ha dimensioni 25 cm. La loro superficie è stata discretizzata in mesh di dimensioni 30x30 cm circa allo scopo di aumentarne l'accuratezza di calcolo riguardo. Allo scopo di considerarne la continuità dei setti ai piani interrati, i vincoli alla base sono stati considerati incastri.

vano scale. gli impalcati costituenti le scale hanno la funzione di rendere collaboranti i due setti che le perimetrano. Inoltre sono in grado di ridistribuire i carichi dovuti al peso proprio ed all'affollamento. E' stata ipotizzata un dimensione in sezione di 20 cm.

orizzontamenti. i solai hanno lo scopo di ridistribuire i carichi (G_1 - G_2 - Q) ai nodi dei pilastri . Allo scopo di annullare il carico dei solai sulle travi perimetrali, è stata utilizzata una mesh i cui vertici giacciono ai nodi dei pilastri. Considerando che il carico si ridistribuisce rispettando le gerarchie di rigidezza, inserendo un numero elevato come paramentro di *Thickness Bending* si assume un piano di rigidezza flessionale molto elevata. Per quanto riguarda la rigidezza membranale si è preferito valutare uno spessore di solaio di 25 cm inserito come parametro *Thickness Membrane* in modo da considerare una corretta rigidezza di piano. Essendo gli orizzontamenti composti da una lamiera grecata callaborante, agendo sui parametri modificatori è stato impostato un valore zero nei valori Mass and Weight modifier allo scopo di inserire manualmente il peso proprio strutturale del solaio.

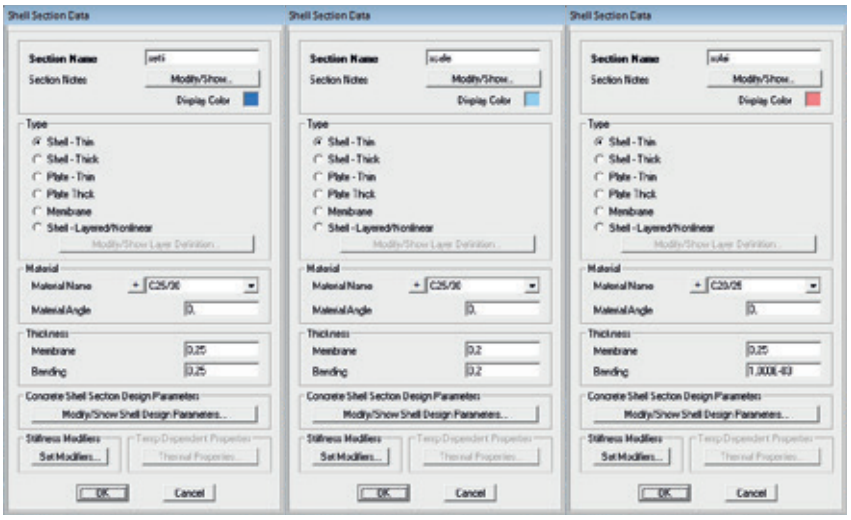


fig. 7.340 - *Parametri degli elementi continui*

I carichi applicati

Prima di procedere all'inserimento dei carichi, è stato necessario definire le tipologie di carico e le combinazioni utili ad eseguire l'analisi strutturale.

All'interno della finestra di comando *Define_Load Patterns* sono stati inseriti le seguenti tipologie di carico:

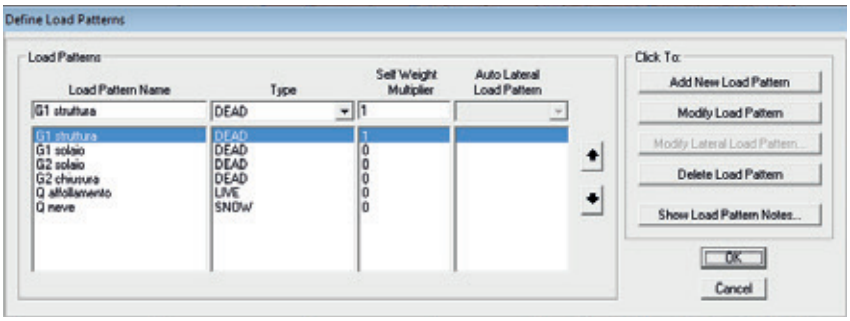


fig. 7.342 - *Tipologie di carichi applicati*

Il valore in *Self Weight Multiplier* ha la funzione di considerare automaticamente il peso proprio strutturale degli elementi inseriti. I solai in calcestruzzo armato sono stati inseriti nel modello per il solo scopo di distribuire i carichi in maniera automatizzata, si è quindi dovuto evitare che il software considerasse il peso proprio durante la fase di analisi. Per questo motivo sono stati disattivati i modificatori *Weight e Mass* all'interno dei parametri del materiale.

I rimanenti *Load Pattern*, non essendo dei pesi propri attribuibili alle sezioni inserite nel modello, sono stati disattivati in modo da poterli inserire manualmente.

La colonna *Type*, invece, ha lo scopo di determinare la tipologia di carico al fine di attribuire il corretto coefficiente di amplificazione a seconda della combinazione di carico analizzata.

Successivamente alla definizione delle tipologie di carico sono stati impostati i valori dei coefficienti di sicurezza nei casi di combinazione allo Stato Limite in Esercizio ed allo Stato Limite Ultimo. Questi valori sono stati sovrascritti alle combinazioni automatiche presenti nel programma le quali rispettano la normativa Europea (Eurocodice 3), ma non la normativa Italiana (NTC2008).

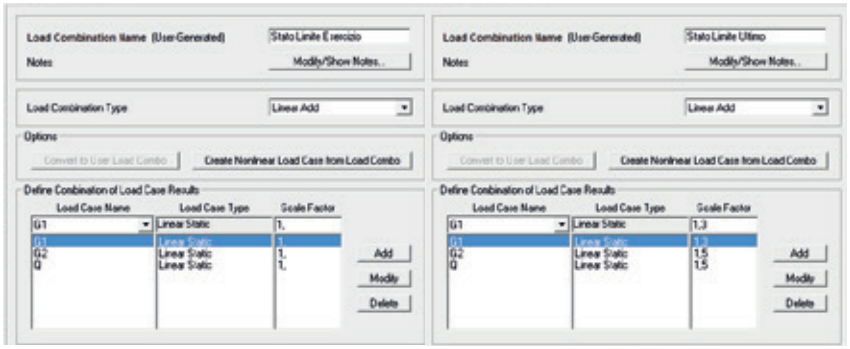


fig. 7.341 - *Parametri Shell Section per le tre tipologie di elementi considerate*

Da destra verso sinistra: setti, vano scale, solai.

Avendo impostato gli impalcati come piani rigidi costituiti da mesh i cui punti scaricano sui nodi dei pilastri, è stato possibile caricare agevolmente la struttura evitando il complesso calcolo delle aree di influenza ad ogni nodo di connessione con la struttura verticale esterna.

Considerando i carichi valutati in fase di dimensionamento degli impalcati, gli shell dei solai sono stati caricati in funzione della tipologia di carico (strutturale, non strutturale e sovraccarico) con il comando *Area Loads_Uniform Shell* selezionando la direzione di carico *Gravity*.

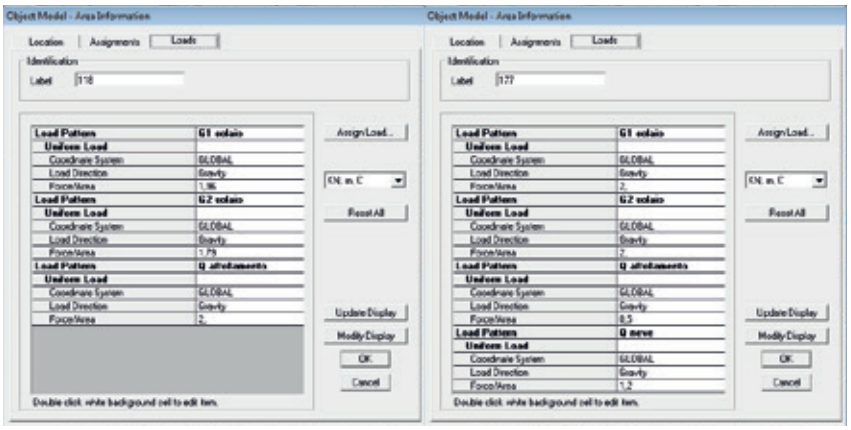


fig. 7.344 - *Valori dei carichi applicati ai solai*

solaio interpiano a sinistra; solaio di copertura a destra.

Allo scopo di semplificare il calcolo ed ottenere un maggior controllo dei risultati, la struttura della serra interna è stata analizzata separatamente. Essendo una facciata appesa, il calcolo dei carichi dovuti alla facciata continua è stato aggiunto alla trave di copertura evitano la modellazione relativa ai profili montanti e traversi della serra.

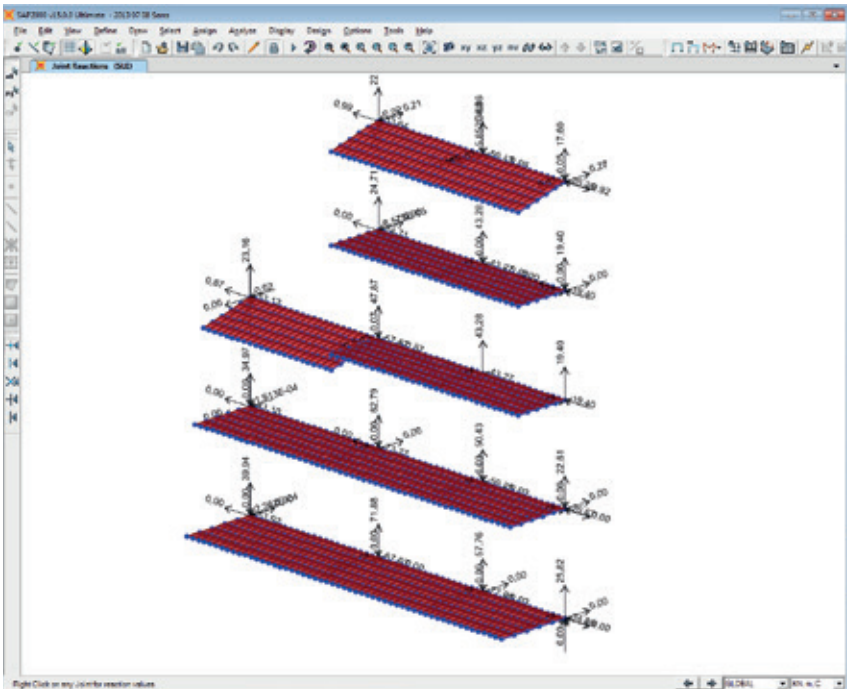


fig. 7.343 - *Analisi strutturale della serra*

Vista delle reazioni vincolari ai nodi dovute ai carichi in esercizio

Una volta ricavate le reazioni vincolari della serra ai nodi di connessione con i pilastri, queste sono state riportate all'interno del modello strutturale del *Cigno* sotto forma di forze concentrate.

Analisi del modello strutturale

Allo scopo di utilizzare il post-processore per la verifica strutturale degli elementi è necessario modificare i limiti di deformabilità e coefficienti di sicurezza presenti all'interno di SAP2000 al fine di poter comparare i risultati del software con le verifiche sezionali effettuate manualmente (*Design_Steel Frame Design_ View/Revise Preferences*).

Molti parametri differiscono dai limiti prescritti dalle NTC2008 perchè il motore di calcolo fa riferimento agli Eurocodici e non alla regolamentazione Italiana.

Di seguito sono riportati gli schemi delle deformata e delle azioni interne della struttura.

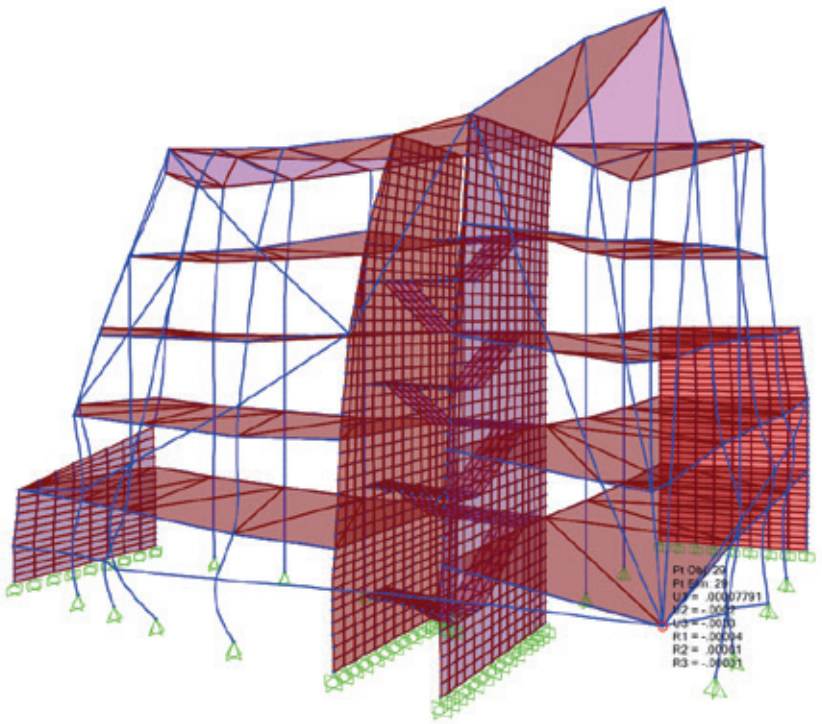


fig. 7.345 - *Deformazioni strutturali dovute ai carichi in esercizio*

Considerando la struttura sottoposta ai carichi di progetto secondo la combinazione allo Stato Limite di Esercizio, il punto di controllo in termini di spostamento è l'angolo dello sbalzo. Questo punto si abbassa di 7 mm e non trasla nel piano x,y.

Entrambi i fronti Est e Ovest si deformano in direzione dello sbalzo, questo a significare che la struttura reagisce come previso in fase di definizione del concept strutturale, cooperando a sorreggere lo sbalzo insieme al vano scale.

Sfruttando il post-processore è stata effettuata la fase di dimensionamento sezionale dei profili. Assegnando agli elementi FRAME dei pilastri una lista di possibili sezioni (profili HEB di dimensioni 120 fino a 340) il software è in grado di scegliere la tipologia di sezione adeguata. Considerando le numerose variabili, la sezione scelta è stata valutata al fine di ottenere una struttura omogenea dimensionalmente, ovvero sono stati scelti profili HEB200 per i pilastri e scatolari 180x126x10 mm per gli elementi di controvento.

Di seguito sono riportati i diagrammi delle azioni interne della struttura.

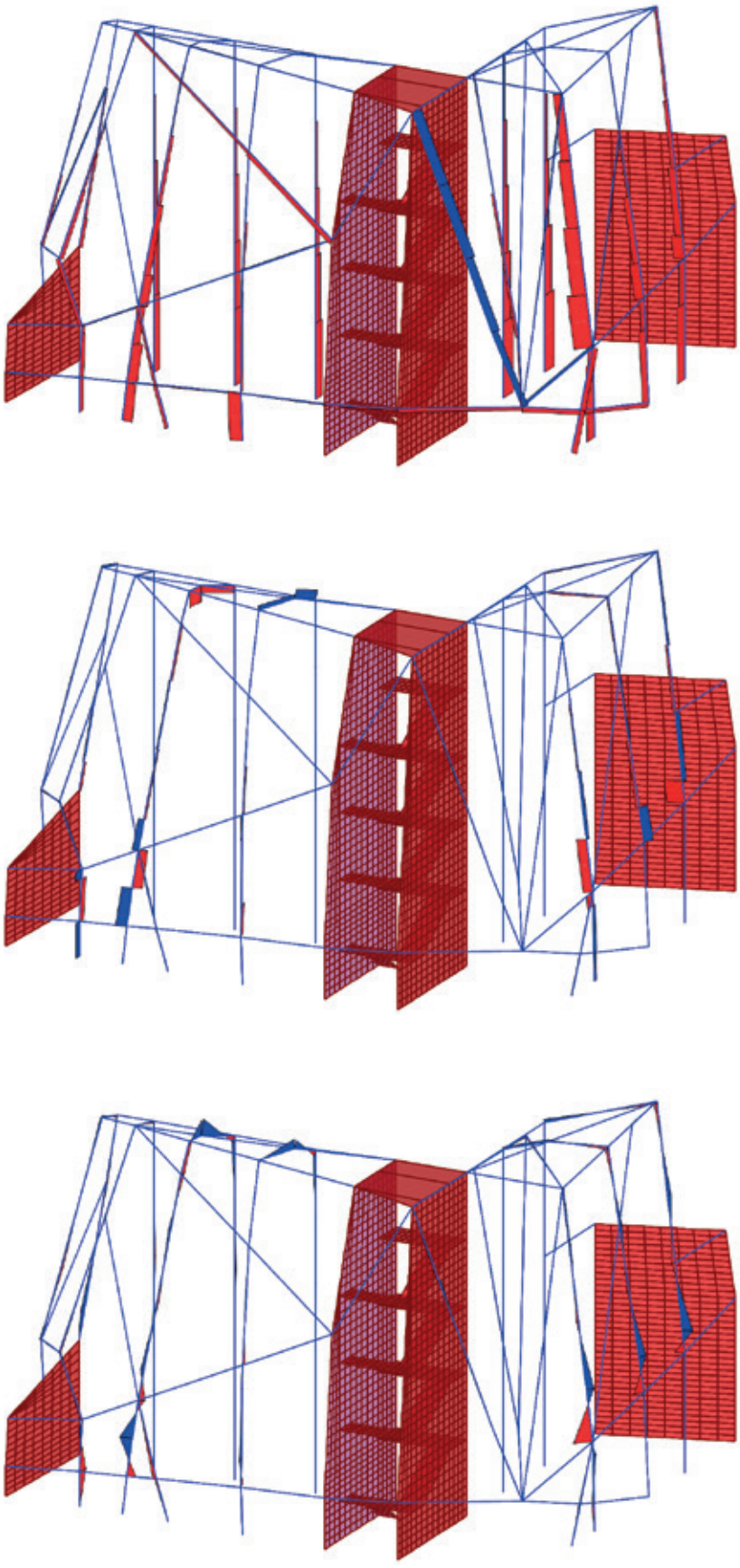


fig. 7.346 - *Diagramma delle azioni interne della struttura del Cigno*

dall'alto al basso: azione assiale, taglio momento.

7.7.5 PILASTRI

Con lo scopo di verificare la bontà del modello strutturale è stato analizzato il pilastro più sollecitato e verificato al fine di comparare i risultati del calcolo con le sezioni proposte dal post-processing del software di analisi strutturale.

Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Stabilità delle membrature - aste compresse

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

N_{Ed} è l'azione di compressione di calcolo

$N_{b,Rd}$ è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa

$N_{b,Rd}=(\chi \cdot A \cdot f_{yk})/\gamma_{M1}$ per le sezioni di classe 1,2 e 3

I coefficienti χ dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impegnato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale λ, dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

dove:

$\Phi=0,5[1+\alpha(\lambda-0,2)+\lambda^2]$

α è il fattore di imperfezione

$\lambda=\sqrt{[(A \cdot f_{yk})/N_{cr}]}$ è la snellezza adimensionale per sezioni di classe 1,2 e 3

N_{cr} è il carico critico elastico basato sulle proprietà della sezione lorda e sulla lunghezza di libera inflessione l_0 dell'asta, calcolato per la modalità di collasso per instabilità appropriata.

Nel caso in cui λ sia minore di 0,2 oppure nel caso in cui la sollecitazione di calcolo N_{Ed} sia inferiore a $0,04 \cdot N_{cr}$, gli effetti legati ai fenomeni di instabilità per le aste compresse possono essere trascurati.

Per la verifica del pilastro è stata considerata una lunghezza di libera inflessione a favore di sicurezza pari alla lunghezza dell'interpiano del piano terra (l_0=4 m) ed un'azione di compressione ricavata dall'analisi elastica lineare effettuata tramite SAP2000.

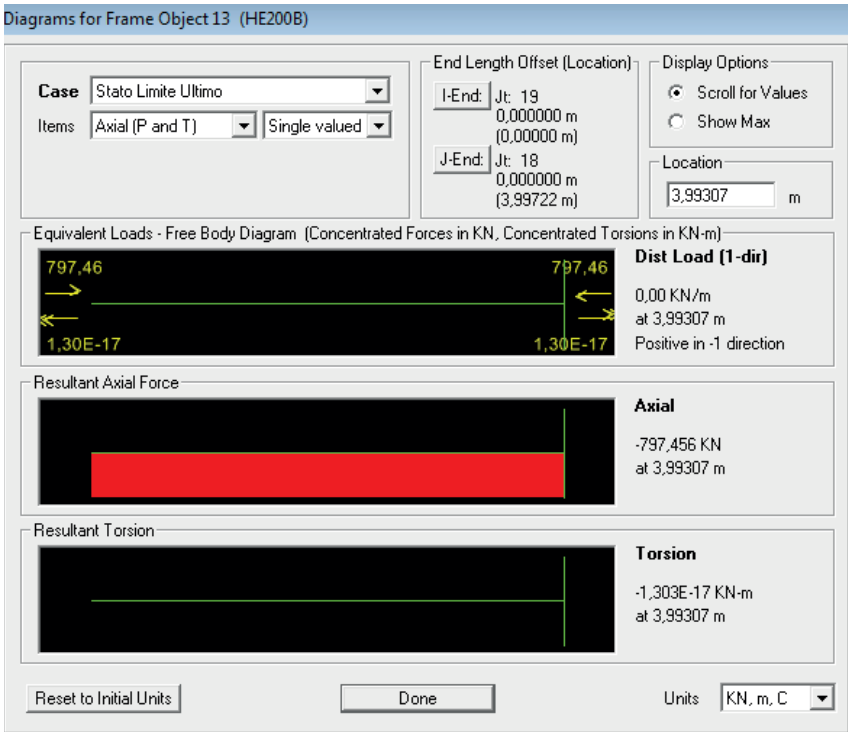


fig. 7.347 - *Diagramma delle azioni assiali del pilastro verificato*

Di seguito è riportata la verifica di stabilità del pilastro analizzato.

Caratteristiche dei profili	
Tipo di profilo	HEB200
Iy [cm⁴]	2003
peso [kN/m]	0,613
luce cr [m]	4,00
E [kN/cm²]	21000
fyk [N/mm²]	355
Classe	1
A [cm²]	78,08
α	0,34

Calcolo della resistenza ad instabilità dell'asta		
N_{cr}	$(\pi^2 EI)/L_o^2$	*2594,66 kN*
λ	$\sqrt{[(A \cdot f_{yk})/N_{cr}]}$	1,07
Φ	$0,5 \cdot [1+\alpha(\lambda-0,2)+\lambda^2]$	1,22
χ	$1/[\Phi+\sqrt{(\Phi^2-\lambda^2)}]$	0,55
$N_{b,Rd}$	$(\chi \cdot A \cdot f_{yk})/\gamma_{M1}$	1521,68 kN

Verifica di stabilità a carico di punta [kN]			
Azione di compressione	N_{ed}	797,45	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
Resistenza all'instabilità	$N_{b,Rd}$	1521,68	0,52

Resistenza delle membrature - aste compresse

Considerando i parametri di resistenza del materiale ed avendo nota la dimensione del profilo e di coefficienti di sicurezza è possibile verificare la resistenza della sezioni ai carichi a cui è sollecitata.

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Verifica di resistenza a compressione [kN]			
Azione di compressione	N_{ed}	797,45	$N_{ed}/N_{c,Rd}$
Resistenza a compressione	$N_{c,Rd}$	2640,45	0,30

7.7.6 UNIONI BULLONATE

Per un corretto dimensionamento della connessione bullonata tra le travi principali (UPN300) e le travi secondaria (IPE300) è stata presa in considerazione la forza più gravosa agente su quest'ultima. Nella fase di calcolo si considera l'azione di taglio con una combinazione allo Stato Limite Ultimo (SLU) ricavata dal dimensionamento della trave stessa.

F=36,24 kN

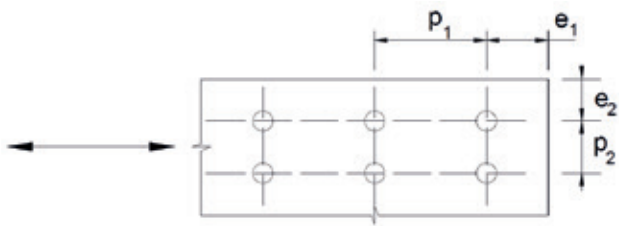
Per l'unione si è poi ipotizzato l'impiego di tre bulloni del tipo M14 di classe 8.8 (f_{yb}=649 MPa, f_{tb}=800 MPa) e due piastre in acciaio saldate alla trave principale preforate. Di seguito sono riportate le caratteristiche geometriche delle piastre ipotizzate.

Geometria delle piastre			
dimensioni	*spessore t*	*tipologia di acciaio*	*ftk [Mpa]*
230 x 100 mm	5 mm x 2 piastre	S355	510

La posizione dei fori è stata calcolata rispettando i limiti imposti dalla normativa [NTC2008].

tab. 7.72 - *Posizione dei fori per le unioni bullonate e chiodate [NTC2008]*

Distanze e interassi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (EN10025-5)
e_1	1,2 d_0	4t+40mm	-	max(8t;125mm)
e_2	1,2 d_0	4t+40mm	-	max(8t;125mm)
p_1	2,2 d_0	min(14t;200mm)	min(14t;200mm)	min(14t;175mm)
$p_{1,0}$	-	min(14t;200mm)	-	-
$p_{1,i}$	-	min(28t;400mm)	-	-
p_2	2,4 d_0	min(14t;200mm)	min(14t;200mm)	min(14t;175mm)
L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se $(p_1/t)<[9(235/fy)^{0.5}]$: in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a $0.6 \cdot p_1$. t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.				



Considerando l'utilizzo di bulloni M14 aventi un diametro del fusto nominale di 14 mm, la distanze e_1-e_2 e p_1,p_2 dovranno essere superiori ai seguenti limiti:

d_0=14+1=15 mm
e_{1min}= 1,2 x 15 = 18 mm
e_{2min}= 1,2 x 15 = 18 mm
p_{1min}= 2,2 x 15 = 33 mm
p_{2min}= 2,4 x 15 = 36 mm

Noti i limiti dimensionali della piastra, è stata definita una geometria consona e rispettosa delle modalità di posa in opera delle travi. Di seguito è riportata la schematizzazione dell'unione bullonata ipotizzata.

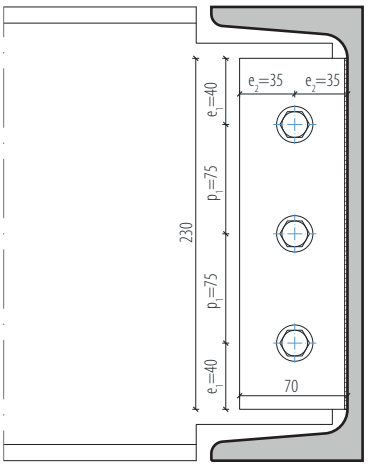


fig. 7.348 - *Rappresentazione dell'unione bullonata trave primaria-trave secondaria (scala 1:5)*

Verifica a taglio del bullone

Si procede con la verifica a taglio del singolo bullone attraverso la quale si stabilisce se il diametro ipotizzato è in grado di resistere alla sollecitazione dovuta all'azione di taglio trasferita dalla trave al bullone.

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$$

$F_{V,ed}$ è l'azione che viene trasferita dalla trave secondaria, all'unione bullonata ed infine alla trave primaria

$F_{V,Rd}$ è la capacità resistente del singolo bullone, che, per ogni piano di taglio che interessa il gambo dell'elemento di connessione, è pari a:

$$F_{V,Rd}=0,6\cdot f_{tb}\cdot A_{res}/\gamma_{M2}$$ *per bulloni di classe 4.6, 5.6 e 8.8*

dove:

f_{tb} è lo sforzo di rottura del bullone, variabile in base alla classe di resistenza

A_{res} è l'area resistente del bullone, relativa alla parte filettata del gambo ed interessata dal piano di taglio

γ_{M2} è un fattore parziale di sicurezza per il calcolo della resistenza a taglio delle viti e dei chiodi, per il rifollamento delle piastre collegate e per il precarico dei bulloni. In questo caso è pari a 1,25

Parametri di verifica a taglio del bullone

f_{tb} [MPa]	A_{res} [mm^2]	γ_{M2}	$F_{V,Rd}$ [kN]
800	154	1,25	59,14

$F_{V,Ed}$ è invece l'azione di taglio agente sul singolo bullone, che in questo caso sarà la risultante dell'azione di taglio (F=36,24 kN) divisa per il numero di bulloni e la componente derivante dal momento torcente.

$F_{V,Ed1}$ = F/n° bulloni = 36,24 kN/3 = 12,08 kN

$$M_t = \text{Momento Torcente} = F \times e$$

dove:
$e=t+e_2+t_t/2$
t=spessore della piastra (essendo la piastra saldata alla trave primaria t=0)
e_2=distanza dal bordo al centro del foro
t_t = spessore dell'anima della trave principale [UPN300]=10 mm

dunque:
e=35+5=40 mm

M_t=36,24 x 40=1,450 kNm

Ora possiamo calcolare la forza radiale sul singolo bullone S.

$$S^*_i=(M/J^*_p)\, r^i$$

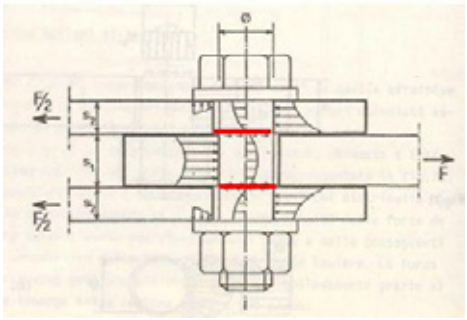
Dove:
$J^*=\sum_i r_i^2=75^2+75^2=11250\ mm^2$

$S=S_1=S_2=(2778/7200)x60=(1450/11250)\cdot 75=9,67$ kN

Essendo S la componente orizzontale e $F_{V,Ed1}$ la componente verticale, calcoliamo la risultante R applicando il teorema di Pitagora:

$R=\sqrt{(S^2+F_{V,Ed1}{}^{2)})}=\sqrt{(9,67^2+12,08^2)}=15,47$ kN

L'azione agente R sarà però da ripartire equamente sulle due sezioni di taglio del bullone come da figura:



Dunque l'azione agente da considerarsi sarà:

$$F_{V,Ed}=R/2=7,63\ kN$$

Verifica a taglio del bullone			
forza agente	$F_{V,Ed}$ [kN]	7,63	$F_{V,Ed}/F_{V,Rd}$
capacità resistente	$F_{V,Rd}$ [kN]	59,14	0,13

Verifica a strappamento e tranciamento della piastra

La piastra di connessione non sarà soggetta rotture se risultano verificate le seguenti condizioni geometriche:

- strappamento m = 2 con $m \cdot d < e_1$
- tranciamento m = 1,5 con $m \cdot d < e_2$

Considerando tali condizioni è possibile determinare i valori minimi di e_1 ed e_2.

	m	**d** [mm]	$\mathbf{e_{min}}$ [mm]	$\mathbf{e_{prog}}$ [mm]
strappamento	2	14	28	<40
tranciamento	1,5	14	21	<35

Verifica a rifollamento della piastra

La verifica deve essere effettuata nelle nelle due direzioni.

Definiti i valori di e_1 ed e_2, è possibile procedere con la verifica a rifollamento nella direzione verticale della piastra che prevede il rispetto della seguente disuguaglianza:

$$F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$F_{b,Rd}$ è la resistenza di calcolo a rifollamento del piatto dell'unione, pari a:

$$F_{b,Rd} = k\,\alpha\, f_{tk} d\, t / \gamma_{M2}$$

dove:

d	è diametro del gambo bullone
t	è lo spessore piastra
f_{tk}	è resistenza a rottura del materiale costituente la piastra
γ_{M2}	è il coefficiente parziale di sicurezza per la verifica delle unioni
α e k	sono invece definiti in base alla geometria del giunto e alle proprietà della piastra

$\alpha = \min\{e_1/(3d0); f_{tb}/f_t; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato

$k = \min\{2{,}8\, e_2/d0 - 1{,}7; 2{,}5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato

essendo e_1 e_2 le distanze dai bordi della piastra ottenute in precedenza che soddisfano le verifiche a strappamento e tranciamento (e_1=40 mm; e^2=35 mm) e d_0 il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone. Si sceglie così il minimo tra i seguenti valori:

	m	**d** [mm]	$\mathbf{e_{min}}$ [mm]
α	$e_1/(3d_0)=0{,}95$	$f_{tb}/f_{tk}=1{,}57$	1
k	$2{,}8\, e_2/d_0 - 1{,}7 = 5{,}3$	2,5	

da cui si ottiene:

α	**k**	**ftk** [MPa]	**d** [mm]	**t** [mm]	γ_{M2}	$F_{b,Rd}$ *[kN]*
0,95	*2,5*	*510*	14	5	1,25	67,83

Direzione verticale

$F_{V,Ed}$ è l'azione agente sul bullone a causa delle pressioni di contatto che si sviluppano all'interfaccia dello spessore della piastra e potenzialmente responsabili dell'ovalizzazione del foro, la stessa rispetto alla precedente verifica, è pari a:

$F_{V,Ed}$=F/n° bulloni=36,24 kN/3=12,08 kN

Verifica a rifollamento della piastra in direzione verticale			
forza agente	$F_{V,Ed}$ [kN]	12,08	$F_{V,Ed}/F_{V,Rd}$
capacità resistente	$F_{V,Rd}$ [kN]	67,83	0,18

Direzione orizzontale

$F_{V,Ed}$ rispetto al caso precedente risulta essere l'azione dovuta all'eccentricità del calcolo rispetto al centro di applicazione della reazione vincolare posto nel baricentro dell'anima della travi primaria.

$F_{V,Ed}$=S=9,67 kN

Verifica a rifollamento della piastra in direzione orizzontale			
forza agente	$F_{V,Ed}$ [kN]	9,67	$F_{V,Ed}/F_{V,Rd}$
capacità resistente	$F_{V,Rd}$ [kN]	67,83	0,14

STUDIO ILLUMINOTECNICO

comfort visivo

capitolo 08

8.1 IL COMFORT LUMINOSO

La progettazione di edifici energeticamente sostenibili è volta a sfruttare le forme di energia gratuite provenienti dalla natura. Una di queste è la luce naturale. Una corretta valutazione e progettazione degli elementi captanti e oscuranti dell'edificio oltre che favorire i guadagni gratuiti di energia solare e ad evitare il dispendio di energia per illuminare un ambiente con luce artificiale, è un parametro importante nella percezione del comfort di un ambiente.

Nella progettazione di ambienti destinati allo svolgimento di attività da parte dell'uomo è necessario porre attenzione al rapporto che si crea tra interno ed esterno, anche sotto l'aspetto della luce naturale. Un accurato dimensionamento e posizionamento delle aperture trasparenti comporta notevoli vantaggi nella fruizione dello spazio abitato.

E' dimostrato che la luce naturale ha numerosi effetti positivi sull'uomo sia di tipo fisiologico che psicologico, per cui migliora il livello di attenzione e produttività, riduce il rischio di problemi alla vista, affaticamento dell'occhio, stanchezza precoce e cefalee, favorisce l'equilibrio del metabolismo e ha anche un'azione battericida nell'ambiente.

Tra i parametri presenti nel comfort abitativo, oltre che il benessere termo-igrometrico, acustico e olfattivo è necessario considerare anche il comfort visivo, che a sua volta viene raggiunto attraverso una progettazione integrata tra illuminazione naturale e artificiale.

La luce naturale è caratterizzata da una grande componente di incertezza e variabilità che dipende dalle condizioni meteorologiche, dall'ora del giorno, dal periodo dell'anno, dalla posizione geografica, dall'orientamento dell'edificio e da eventuali ostruzioni esterne, per cui per garantire un adeguato livello di comfort visivo in ogni momento è necessario fare ricorso alla luce artificiale.

Un'adeguata illuminazione naturale contribuisce in maniera significativa al risparmio energetico negli edifici in quanto può fornire l'illuminamento richiesto per l'80-90% delle ore di luce diurna, permettendo il risparmio di una considerevole quantità di energia.

La direttiva europea 2002/91/CE sulla certificazione energetica negli edifici prevede, oltre al calcolo dei consumi legati al riscaldamento e raffrescamento, anche quello relativo ai consumi di elettricità ai fini dell'illuminazione. Essa ha dato impulso all'emanazione della norma europea EN 15193 del 2007, che introduce un indice (il LENI – Lighting Energy Numeric Indicator) per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici relative all'illuminazione.

Negli edifici passivi, inoltre, sfruttare la radiazione solare per l'illuminamento, consente inoltre, attraverso l'effetto serra di ottenere guadagni solari considerevoli, molto vantaggiosi durante il periodo invernale. Al contrario, durante l'estate, sarà necessario schermare la radiazione in maniera opportuna, cioè consentendo alla luce di entrare in maniera indiretta all'interno degli ambienti.

L'eccesso di questo concetto progettuale, al contrario, porterebbe a condizioni di discomfort e dispendio energetico, infatti, le grandi vetrate sono un punto debole dell'involucro ed inoltre favoriscono una condizione disomogenea della luce, che causerebbe fenomeni di abbagliamento a discapito del benessere visivo.

8.2 ILLUMINOTECNICA

L'illuminotecnica deriva i suoi principi fondamentali e le grandezze in gioco dalla fotometria, disciplina che studia la luce in funzione dello stimolo prodotto sull'occhio umano. A seconda delle attività svolte, il progetto delle luce (inteso sia come controllo della luce naturale, sia di quella artificiale) deve offrire condizioni di comfort assai vario: luce diffusa e d'ambiente, luce concentrata sui piani di lavoro, luce d'effetto e d'accento su oggetti e superfici. Per soddisfare queste esigenze fondamentali è necessario riferirsi a parametri qualitativi e quantitativi definiti per i sistemi di illuminazione naturale ed artificiale.

Ciò che definiamo radiazioni luminose o più semplicemente luce, sono le radiazioni elettromagnetiche che l'occhio umano è in grado di percepire e precisamente quelle che hanno una lunghezza d'onda (λ) nel vuoto compresa tra 400 e 780 nanometri (nm). La luce è quindi la sensazione soggettiva prodotta dall'interazione di queste radiazioni con l'apparato visivo. Innanzitutto diversa è la sensazione cromatica: ad ogni lunghezza d'onda ed alle loro innumerevoli combinazioni sono associate percezioni cromatiche differenti (in ordine crescente di lunghezza d'onda: viola, indaco, blu, blu-verde, verde, verde-giallo, giallo, arancio, rosso).

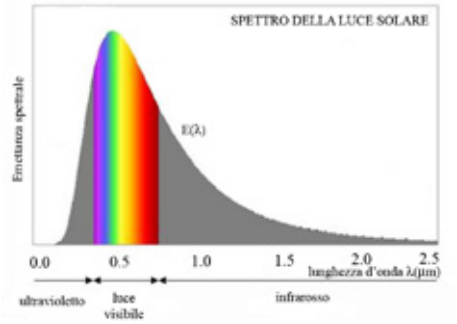


fig. 8.349 - *Lo spettro della radiazione solare*

Diversa è anche l'intensità della risposta, vale a dire la visibilità delle radiazioni: l'occhio, infatti, manifesta sensibilità maggiori o minori a seconda che la lunghezza d'onda della sorgente luminosa si trovi rispettivamente al centro od agli estremi della banda delle radiazioni visibili.

Naturalmente non tutti gli individui hanno un'identica sensibilità e per questo sono state condotte indagini su numerose persone. Il risultato statistico di tali indagini ha portato alla codificazione di un occhio avente una sensibilità media convenzionale (occhio medio internazionale) ed alla definizione di un fattore di visibilità relativa V (λ).

Adottando V (λ)=1 per la lunghezza d'onda di 555 nm (radiazione che produce la massima sensazione luminosa) è stata costruita la curva di visibilità relativa, il cui andamento esprime la variazione del fattore di visibilità in funzione della lunghezza d'onda della radiazione. Per livelli d'illuminamento molto bassi, corrispondenti alla visione notturna (visione scotopica), il massimo di visibilità si registra per lunghezze d'onda intorno ai 507 nm. La visione fotopica e la visione scotopica si caratterizzano l'una per la nitida percezione dei colori ed un rapido adattamento alle variazioni d'intensità di radiazione, l'altra per la mancanza di differenziazione dei colori, la scarsa definizione delle immagini e la lentezza di adattamento passando dalla luce alla semioscurità.

Le principali grandezze fotometriche sono espresse dalla normativa UNI EN 12665:2004:

- il flusso luminoso (Φ [lm]): esprime l'energia luminosa emessa da una sorgente puntiforme e ponderata in base alla curva di visibilità relativa;
- l'intensità luminosa (I [cd]): esprime il flusso emesso da una sorgente puntiforme in una determinata direzione entro un angolo solido unitario;
- la luminanza (L [cd/m2]): esprime l'intensità luminosa prodotta o riflessa da una superficie estesa in rapporto all'area di tale superficie così come è vista

dall'osservatore (area apparente);
- l'illuminamento (E [lx=lm/m2]): esprime il flusso luminoso incidente su una superficie in rapporto all'area di tale superficie.

L'illuminazione di un ambiente è data non solo dal flusso luminoso emesso dalle sorgenti naturali o artificiali, ma anche dalla luce rinviata ripetutamente dalla superfici che direttamente o indirettamente sono investite dalle radiazioni luminose. Le grandezze idonee a valutare il comportamento di una superficie su cui incide una radiazione luminosa sono:
- il fattore di assorbimento luminoso (αL): esprime il rapporto tra il flusso luminoso assorbito dalla superficie ed il flusso luminoso incidente; per esemplificare, una superficie nera e opaca assorbe teoricamente tutto il flusso luminoso (che si converte in energia termica), mentre una superficie colorata lo assorbe solo in parte (il colore di un oggetto dipende dalle quantità relative di luce assorbita e riflessa);
- il fattore di riflessione luminoso (ρ): esprime il rapporto tra il flusso luminoso riflesso dalla superficie ed il flusso luminoso incidente; a seconda del tipo di superficie, si può avere una riflessione speculare (es. specchio, acciaio inossidabile), diffusa (es. intonaco, carta ruvida) o mista (es. carta lucida, superfici smaltate);
- il fattore di trasmissione luminoso (τL): esprime il rapporto tra il flusso luminoso trasmesso da una superficie trasparente ed il flusso luminoso incidente; a seconda del tipo di superficie, si può avere una trasmissione speculare (es. vetro trasparente), diffusa (es. vetro opacizzato) o mista (es. carta o vetro traslucidi);

Le radiazioni luminose percepite da un soggetto in un ambiente interno sono solo in parte emesse direttamente dalle sorgenti luminose. Una quota più o meno importante è invece prodotta dalla riflessione dei vari componenti dell'ambiente (pareti, soffitto, pavimenti, arredi, ecc.).

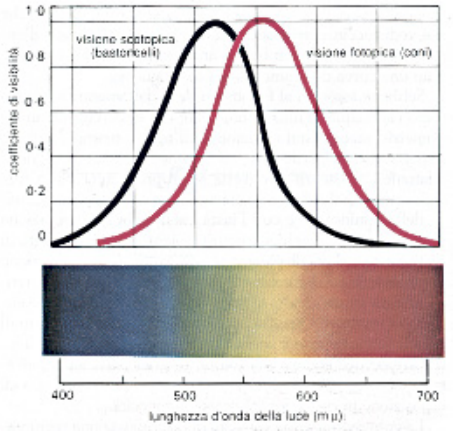


fig. 8.350 - *Capacità visiva dell'occhio*

8.2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il quadro legislativo nazionale non offre disposizioni efficaci riguardo al benessere visivo, infatti la normativa relativa al benessere visivo risale al 1975.

I documenti tecnici di riferimento sono i seguenti:

- D.P.R. n. 303 del 19/3/56 – Norme generali per l'igiene del lavoro
- Circ. Min. LL. PP. n. 3151 del 22/5/67 – Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione delle costruzioni edilizie
- Circ. Min. LL. PP. n. 13011 del 22/12/74 – Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione
- D.M. 5/7/75 – Modificazioni alle istruzioni ministeriali del 20/6/1896 relative altezza minima dei locali ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione
- D.M. 18/12/75 – Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica
- Il D.M. 5 luglio 1975 è una pietra miliare nel settore della progettazione di edifici residenziali, riguarda le dimensioni minime degli ambienti e in particolare per la questione della luce naturale all'art. 5 dispone quanto segue:

Tutti i locali degli alloggi, eccettuati quelli destinati a servizi igienici, disimpegni, corridoi, vani-scala e ripostigli debbono fruire di illuminazione naturale diretta, adeguata alla destinazione d'uso. Per ciascun locale d'abitazione, l'ampiezza della finestra deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore di fattore luce diurna medio non inferiore al 2%, e comunque la superficie finestrata apribile non dovrà essere inferiore a 1/8 della superficie del pavimento.

Un'errata interpretazione dell'articolo ha diffuso l'opinione che la proporzione di 1/8 tra finestre e pavimento sia sufficiente a garantire un illuminamento adeguato della stanza. Dal testo invece appare chiaro che vanno effettuate entrambe le verifiche. In effetti gli studi sull'illuminotecnica confermano che il Fattore Medio di Luce Diurna (FLDm) dipende da numerosi fattori e non solamente dall'entità della superficie vetrata o dal rapporto tra essa e la superficie della stanza. Molto probabilmente la maggior parte dei tecnici dal '75 ad oggi ha svolto solo le verifiche del rapporto areo-illuminante nelle varie stanze tralasciando il calcolo del FLD anche a causa delle difficoltà oggettive che si riscontravano nel determinare questo parametro.

I valori consigliati dalla normativa UNI 10380 sono espressi nella seguente tabella:

tab. 8.73 - *Valori illuminamento e indice di resa cromatica [UNI10380]*

Tipologia di ambiente	E [lux]	IRC [%]
sale conferenza	500	80
teatri	200	80
sale multifunzionali	300	80
spazi espositivi	300	80
zone lettura	500	80
ingressi	100	60
corridoi, aree di circolazione	100	40
scale, ascensori	150	40
depositi, magazzini	100	60

fig. 8.351 - *Green Lighthouse, University of Copenhagen*

8.2.2 LA LUCE NATURALE

La progettazione della luce naturale è stata sin dallo studio preliminare del lotto di progetto, parte integrante della fase di design del *Cigno*. Una corretta progettazione deve prevedere il controllo dell'ingresso della luce naturale senza agevolare sovraccarichi estivi, mentre deve limitare le dispersioni in inverno e favorire i guadagni solari. E' quindi necessario adottare e progettare strategie di controllo della luce naturale il più possibile passive perchè siano sempre efficaci ed alla portata di mano degli utenti.

I benefici introdotti dalla progettazione con la luce naturale possono essere sintetizzati nei seguenti concetti:

- miglioramento della qualità della visione: la qualità della visione si riferisce alle prestazioni visive, al benessere visivo e alla facilità con cui si svolge il compito visivo in ambiente. La luce naturale rappresenta la migliore sorgente di luce per la visione, sia in termini di quantità (livelli di illuminamento), sia in termini di qualità (resa cromatica e temperatura di colore)
- miglioramento delle condizioni di comfort: la variabilità della luce naturale durante il giorno rappresenta uno stimolo positivo sia dal punto di vista biologico che psicologico per l'essere umano; ambienti lavorativi illuminati naturalmente risultano meno stressanti e più confortevoli dal punto di vista visivo
- diminuzione dei carichi dovuti alla luce artificiale: l'impiego di luce artificiale è responsabile dal 30% al 40% del consumo di energia elettrica di un edificio. Una efficiente integrazione di luce naturale e artificiale comporta una significativa riduzione (fino a due terzi) dell'energia impiegata per l'illuminazione
- diminuzione dei carichi termici: se confrontato con lo spettro di una sorgente di luce artificiale, lo spettro solare si sviluppa maggiormente nel campo del visibile come energia luminosa, rispetto alla zona dell'infrarosso associata all'emissione di calore; se ben progettata per sostituire la luce artificiale, quindi, la luce naturale può comportare un'effettiva riduzione dei carichi termici
- diminuzione dei carichi elettrici di picco: l'impiego di luce naturale risulta particolarmente adatto per gli edifici commerciali e gli ambienti lavorativi, occupati prevalentemente nelle ore diurne. In periodo estivo, con forte disponibilità di luce naturale ed elevate temperature esterne, la luce naturale può ridurre in modo sostanziale i carichi termici e i carichi elettrici di picco; in periodo invernale, un minore impiego della luce artificiale può comportare una riduzione dei carichi elettrici di picco. Tali riduzioni possono comportare sia degli importanti risparmi, sia una minore necessità di produzione di energia elettrica

Il progetto della luce naturale può dunque influenzare in misura determinante il progetto architettonico, anche nelle fasi di progetto preliminare, là dove si deve valutare l'impatto derivante dall'inserimento di aperture nell'involucro, soprattutto per rapporto a problemi di danno da raggi UV e IR si adottano misure speciali, quali:

- apposizioni di elementi filtranti, in corrispondenza di finestre e vetrate, posti tra queste e l'interno dello spazio espositivo: tende, velari, pannelli in materiale oscurante, scuri, veneziane, in genere fissati al serramento o comunque fissati al vano finestra
- impiego di elementi schermanti esterni al vano vetrato, fissati alla facciata: pannelli a lamelle inclinate, fisse o orientabili, del tipo brise-soleil, elementi filtranti (tende, velari) realizzati con materiali atti a resistere all'esterno
- impiego di vetri di tipo filtrante dei raggi solari
- utilizzo di pellicole filtranti (applicabili alle vetrate esterne, in specie nei casi di illuminazione zenitale) o di fogli in materiale acrilico o polivinile, capaci di assorbire le radiazioni UV; sotto forma di filtro, questi materiali si ritrovano anche nel progetto della luce artificiale, montati sugli apparecchi illuminanti, con funzione di filtro

8.2.3 ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

L'illuminazione artificiale è prodotta dall'insieme dei corpi illuminanti intenzionalmente introdotti per lo svolgimento dei compiti visivi richiesti in quel determinato luogo e per compensare la carenza o l'assenza di illuminazione naturale. La progettazione di un impianto di illuminazione deve perciò essere coerente con le caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, forma, proprietà fotometriche delle superfici interne, presenza di luce diurna, ecc.), la sua funzione generale (commerciale, produttiva, sanitaria, ecc.) ed i compiti visivi degli utilizzatori.

I principali parametri da considerare per progettare le condizioni illuminotecniche di un ambiente sono:

- distribuzione delle luminanze: per evitare l'affaticamento visivo dovuto a ripetuti e continui processi di adattamento, va realizzata una distribuzione equilibrata delle luminanze, evitando variazioni e discontinuità accentuate tra le diverse aree del campo visivo e tenendo conto dell'importanza che hanno le superfici riflettenti presenti nell'ambiente
- illuminamento medio mantenuto: valore di illuminamento al di sotto del quale l'illuminamento medio su una specifica superficie non può mai scendere
- uniformità dell'illuminamento: i valori di illuminamento tra l'area oggetto del compito visivo e quelli della zona immediatamente circostante non devono discordarsi eccessivamente per evitare l'insorgere di affaticamento visivo e disturbi da abbagliamento
- abbagliamento: la limitazione dell'abbagliamento è necessaria per evitare errori, affaticamento e incidenti, vale a dire per non pregiudicare l'affidabilità della prestazione visiva
- resa del colore e colore apparente della luce: misurano quanto naturali appaiano i colori degli oggetti illuminati da una sorgente luminosa

In conclusione risulta dunque chiaro che, in fase progettuale, occorre considerare numerosi fattori che concorrono a determinare la qualità dell'ambiente. Si controlleranno quindi la modalità di ingesso della luce nell'edificio (inclinazione dei raggi solari nel corso delle stagioni, forma delle finestre e delle vetrate), gli ambienti (contrasto tra oggetti e sfondi, dimensioni e proporzioni degli spazi, variazioni del punto di osservazione della persona, la sua visione ravvicinata alternata alla visione a distanza) ed infine i materiali ed i colori (caratteristiche cromatiche dei piani orizzontali e verticali che definiscono lo spazio, finiture superficiali e texture dei materiali e la loro capacità di assorbimento e riflessione, percezioni dei colori, intensità di luminosità ed effetti chiaroscurali, rapportati ai tempi di adattamento dell'occhio alle variazioni stesse).

fig. 8.352 - *Biblioteca Sormani, Milano*

8.3 ANALISI DELLA RADIAZIONE SOLARE- APPARTAMENTI

L'analisi illuminotecnica è stata svolta per l'appartamento del secondo piano ed è considerabile rappresentativo di tutti gli appartamenti del blocco Sud-Est.

L'appartamento è caratterizzato da un orientamento preponderante Est Ovest, quindi sarà soggetto ad un irraggiamento molto diverso durante le ore della giornata.

E' necessario considerare oltre al benessere visivo anche quello termico, in quanto la radiazione luminosa entrante negli appartamenti è, oltre che il un input luminoso anche un guadagno interno, che se non controllato graverebbe notevolmente sul grado di comfort interno oltre che sul dispendio di energia per bilanciare questo scompenso.

8.3.1 FATTORE DI LUCE DIURNO

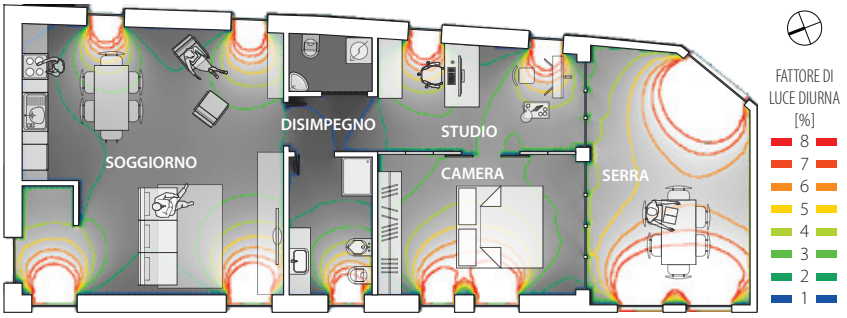


fig. 8.353 - *Pianta appartamento Sud-Est Piano 2° - Fattore di Luce Diurno*

L'analisi dell'illuminamento natura è stata effettuata utilizzando il software gratuito *Daylight Visualizer 2* messo a disposizione dall'azienda produttrice di finestre per sottotetti Velux.

All'interno dell'appartamento il fattore di luce diurno non è mai inferiore al 2% ed è mediamente il 3% in tutto l'appartamento, escluso il secondo bagno che in questo caso è stato ipotizzato privo di finestre per avere un diverso ritmo delle finestre in facciata.

La normativa impone il raggiungimento di un FLD pari all'1% per le residenze. Questo valore è stato ampiamente soddisfatto fino a raggiungere le condizioni di comfort ottimali da considerarsi intorno al 3-4%.

Nonostante un orientamento Est Ovest ed una profondità degli appartamenti di circa sette metri tra i due fronti contrapposti (condizioni sfavorevoli a raggiungere il corretto grado di illuminamento), questo risultato è stato possibile grazie allo studio del posizionamento delle finestre.

8.3.2 ELEMENTI SCHERMANTI

Distaccandoci dalle sempre più diffuse tecnologie volte alla schermatura passiva della radiazione solare, ovvero i brise soleil, abbiamo voluto risolvere il problema della schermatura avvantaggiandoci di una diversa tecnologia.

A seguito dei concetti espressi nel capitolo relativo alle strategie energetiche dell'edificio ci siamo posti come presupposto di favorire i guadagni solari e luminosi durante il periodo invernale ed al contrario schermare la radiazione solare estiva.

Un concetto molto importante per l'analisi delle schermature è l'angolo di inclinazione solare rispetto all'orizzonte, maggiore durante le ore centrali della giornata e molto basso agli estremi.

E' opportuno quindi schermare la radiazione proveniente da Est e da Ovest attraverso una disposizione verticale degli elementi oscuranti. Per questo motivo abbiamo preferito

sfruttare la presenta della struttura esterna all'involucro. Essa infatti sporge rispetto al filo dell'involucro di 25 cm che, considerando un arretramento delle finestre di 12 cm rispetto al filo dell'involucro esterno (ovvero la porzione relativa all'isolamento allo scopo di evitare struttura che sorreggessero uno sbalzo di questi elementi rispetto al filo di facciata strutturale) è pari a 37 cm.

Sfruttando la presenza della struttura abbiamo raggiunto un grado di schermatura sufficiente ad evitare il surriscaldamento estivo dovuto all'ingresso della radiazione dalle porzioni vetrate dell'involucro disposte ad Est e ad Ovest.

La restante porzione di radiazione incidente sulle finestre è schermabile in funzione degli utilizzi degli ambienti da parte degli utenti dell'appartamento grazie alla predisposizione di oscuranti aventi un doppio telo: più chiaro per ridurre l'illuminamento e più scuro per garantire l'oscurità.

Inoltre gli oscuramenti sono stati predisposti all'esterno della finestra nelle porzioni di involucro più irraggiate, ovvero quelle scelte per l'alloggiamento dell'impianto fotovoltaico di facciata ed all'interno nelle restanti porzioni di involucro. Con questa scelta architettonica è stato possibile evitare l'inserimento di cassonetti visibili dall'esterno risolvendo i relativi problemi energetici di dispersione termica che avrebbero generato.

La dimensione delle finestre a tutt'altezza degli appartamenti (90x300 cm e 60x300 cm) è dettata dal passo dei pannelli di facciata. Entrambi sono stati bilanciati per garantire il corretto illuminamento interno, una dimensione proporzionata dei vari elementi rispetto alla facciata ed allo stesso tempo agevolarne la progettazione e la posa.

fig. 8.354 - *Esempio di oscuranti a doppio rullo (chiaro e scuro) interni*

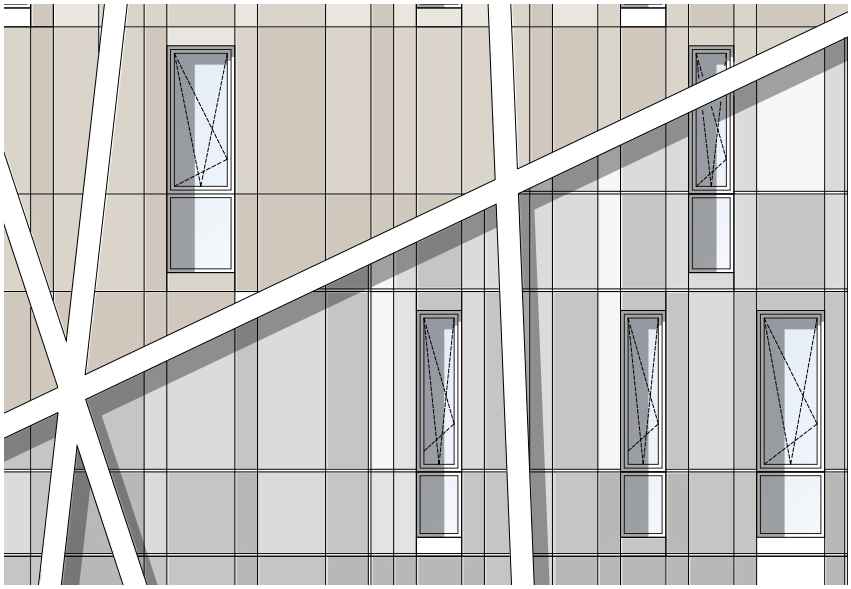


fig. 8.355 - *Stralcio di prospetto Est*

8.3.3 DISPOSIZIONE DEGLI SPAZI INTERNI

La disposizione degli ambienti è un altro parametro importante nella progettazione degli appartamenti in grado di variare notevolmente le condizioni di comfort dei diversi ambienti.

Soggiorno e cucina

La necessità di disporre il vano di distribuzione verticale in una posizione baricentrica dell'edificio, ha vincolato la posizione del soggiorno e della cucina a Nord del blocco Sud-Est per offrire immediatamente a chi entra l'immagine della zona giorno ed evitare inutili corridoi. Allo scopo di avere un ambiente luminoso, è stato pensato uno spazio aperto con un doppio affaccio est/ovest in grado di essere illuminato durante tutta la giornata. Questa scelta progettuale è molto vantaggiosa in termini di omogeneità del grado di illuminamento naturale del soggiorno, infatti la radiazione più luminosa delle ore centrali della giornata non raggiunge l'ambiente che è illuminato dalla luce diffusa proveniente dai due fronti contrapposti. Al contrario, la radiazione solare più debole mattutina e serale entra all'interno dell'appartamento.

Camera e studio

La restante porzione di superficie utile è state dedicata allo studio ed alla camera. La scelta di disporre le camere verso o vest è motivata dalla necessità di proteggerle dalla forte radiazione estiva mattutina in grado di generare un forte discomfort termico di questo ambiente. La camera infatti è disposta a fianco dello studio che ha la possibilità di essere protetto dagli oscuranti esterni durante il mattino. Questa scelta permette di aprire le finestre all'interno delle camere evitando che ricevano irraggiamento diretto.

Di fondamentale importanza è stata la scelta progettuale di disporre una serra abitabile a Sud. Quest'ambiente è in grado di schermare entrambi questi ambienti dalla forte irradiazione estiva delle ore centrali della giornata riducendo notevolmente il fabbisogno energetico per il raffrescamento. La serra è provvista di un paramento esterno a bassa inerzia che evita lo scambio termico per irraggiamento e, soprattuto, di finestre completamente apribili che garantiscono una corretta ventilazione per la quale la temperatura della serra è pari a quella esterna.

Queste considerazioni portano un notevole vantaggio in termini di risparmio energetico in condizioni di raffrescamento ed, al contrario, garantiscono guadagni solari durante l'inverno grazie alla chiusura della serra che funge da ambiente buffer (in regime dispersivo) e grazie agli apporti solari gratuiti dalle porizioni trasparenti dell'involucro.

Il paramento divisorio tra camera e studio è stato pensato mobile, in questo modo è possibile migliorare il comfort luminoso interno durante l'inverno a scapito della privacy delle camere. Essendo appartamenti destinati all'utilizzo di due persone, questa scelta ci è sembrata la più conveniente sia intermini di comfort luminoso che termico.

La serra, per consuetudine, è più utilizzata durante il periodo estivo, il divisorio mobile tra studio e camere che durante questa stagione e consigliabile rimanga chiuso, garantisce la possibilità di accedervi attraversando lo studio e precludendo la visione della camera da letto.

I servizi

I servizi igienici sono stati disposti in posizione baricentrica rispetto all'appartamento in modo da essere facilmente accessibili sia dalla zona notte che dalla zona giorno.

Il bagno principale è provvisto di una finestra a tutt'altezza, per garantirne la privacy è stato ipotizzato l'uso di un vetro satinato che ne impedisce la visione dall'esterno.

Le porte del bagno sono state pensate per essere aperte in un'intercapedine che ne impedisce la visione attraversando il disimpegno in modo da garantire un illuminamento

adeguato a questo spazio privo di affacci e contemporaneamente evitando uno scompenso di illuminazione tra gli ambienti vissuti e il disimpegno che causerebbe discomfort visivo in quanto l'illuminamento avrebbe valori notevolmente diversi.

Illuminazione artificiale

Dal 1 Dicembre 2012 le poco efficienti lampade ad incandescenza con spirale in tungsteno (con potenze da 25 a 40 W) non possono più essere prodotte. Nel Settembre 2016 saranno ulteriormente bandite le lampade alogene a bassa efficienza (che funzionano secondo il principio di quelle a incandescenza ma hanno una traccia di alogeno nella miscela gassosa del bulbo).

In sostituzione alle lampade da 40 W a bassa efficienza ed allo scopo di limitare il fabbisogno energetico per l'illuminamento, le aternative tecniche disponibili in commercio sono le lampade:

- alogene ad alta efficienza - 28 W
- fluorescente compatta(neone) - 8W
- Led - 8W

La luce ottimale per l'illuminamento è quella naturale, prodotta dal sole. Partendo da questo presupposto, la luce artificiale è tanto migliore quanto la sua qualità si avvicina a quella della luce naturale. La qualità della luce prodotta da una sorgente artificiale si valuta attraverso due parametri:

- indice di Resa Cromatica (IRC), espresso in percentuale
- temperatura di colore, misurata in gradi Kelvin (°K)

L'indice di resa cromatica [Ra] serve a valutare quanto i colori di un oggetto visto sotto la luce artificiale siano fedeli, cioè assomiglino agli stessi colori visti sotto la luce naturale. Il valore consigliato per residenze dalla normativa UNI 10380 è superiore al 90%, mentre per la mediateca è superiore al 80%.

Si definisce invece temperatura di colore di una data radiazione luminosa la temperatura che dovrebbe avere un corpo nero affinché la radiazione luminosa emessa da quest'ultimo appaia cromaticamente la più vicina possibile alla radiazione considerata. Una temperatura bassa corrisponde ad un colore giallo-arancio. Scendendo in lunghezza d'onda si passa al rosso ed all'infrarosso, non più visibile, mentre salendo la luce si fa prima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta. Quando si dice che una luce è calda, questa corrisponde ad una temperatura di colore bassa, viceversa una temperatura maggiore produce una luce definita fredda.

Tale definizione ha una motivazione psicologica, poiché la nostra mente tende ad associare a colori come il rosso o il giallo-arancio l'idea di caldo ed a colori come il bianco o l'azzurro l'idea di freddo.

Per le l'illuminazione artificiale si parla, secondo la norma UNI 12464, di:

- bianco caldo se la temperatura di colore è minore di 3300 K
- bianco neutro se la temperatura di colore è tra i 3300 e i 5300 K
- bianco freddo se la temperatura di colore è superiore ai 5300 K

Di seguito sono riportati i valori di illuminamento, temperatura e indice di resa cromatica per gli appartamenti.

tab. 8.74 - *Valori minimi di illuminamento da garantire in un appartamento*

	Illuminamento E [lux]	**Temperatura colore [K]**	**Indice di resa cromatica**
Soggiorno			
generale	*100*	*3000*	*85*
locale	*300-500*	*3000*	*85*

	Illuminamento E [lux]	Temperatura colore [K]	Indice di resa cromatica
Camera da letto			
generale	*50*	*3000*	*85*
locale	*200*	*3000*	*85*
Cucine			
generale	*200*	*3000*	*85*
locale	*500*	*3000*	*85*

Lampade a LED

Le lampade con diodo ad emissione luminosa (light emitter diode) sono costituite da un componente elettronico bipolare (cioè dotato di due terminali) allo stato solido. Al suo interno è presente del materiale semiconduttore (normalmente silicio) chimicamente alterato (drogato) diviso in due zone separate dalla cosiddetta giunzione. Questa permette il passaggio della corrente elettrica in un solo senso. Particolari drogaggi del semiconduttore possono fare in modo che, al passaggio della corrente tra i due terminali (detti catodo e anodo) la giunzione emetta un fascio luminoso il cui colore può cambiare in base al drogaggio stesso. Tale fenomeno è sfruttato da tempo per costruire piccole spie e visualizzatori luminosi (display) per apparecchiature elettroniche. Negli ultimi anni si è però riusciti a costruire LED ad alta efficienza che assorbono correnti relativamente elevate, dell'ordine di 350 mA, ed emettono un fascio di luce da oltre 160 lm. La dimensione del componente è di circa 1 mm^2. Assemblandone diversi in uno stesso apparecchio è quindi possibile costruire delle lampade con emissioni anche molto elevate e consumi estremamente ridotti.

I LED funzionano a bassa tensione quindi per essere alimentati a valori di rete debbono essere collegati, a gruppi, in serie tra loro e/o essere dotati di particolari circuiti accenditori. In corrente alternata conducono soltanto durante un semiperiodo della forma d'onda sinusoidale, quindi, per sfruttare a pieno la potenza fornita dalla rete, occorre recuperare le semionde negative. Per contro funzionano correttamente in corrente continua e quindi sono particolarmente adatti ad essere alimentati da pannelli fotovoltaici.

Per questo motivo è stata scelta questa tecnologia per compensare l'assenza di illuminamento naturale nei periodi dell'anno invernali e durante la sera. Inoltre è stato ipotizzato l'uso di dimmer collegati a sensori fotosensibili in grado di corregge l'intensità di luce prodotta dai terminali illuminanti e favorire un'ottimale distribuzione dell'illuminamento ed, al contempo, di ridurre i consumi.

8.3.4 REPORT DI ANALISI

Durante le prime ore del mattino ed in condizioni di cielo coperto, benché vi siano due finestre orientate verso Est, la luce non soddisfa i requisiti minimi di illuminamento. In questi casi, il corretto illuminamento sarà raggiungo grazie all'illuminazione artificiale a basso consumo.

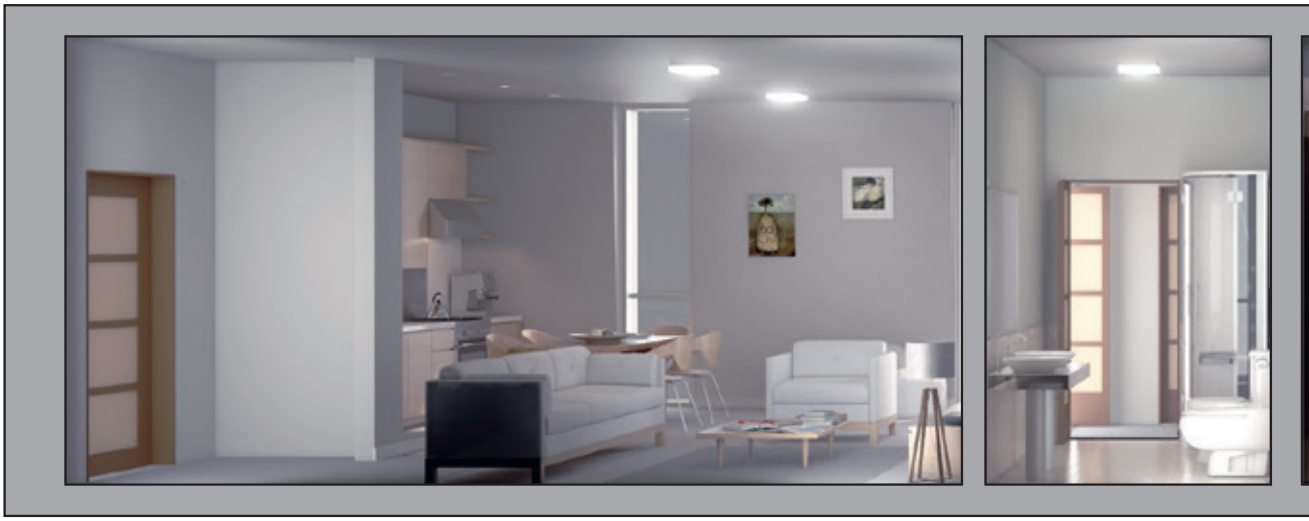
All'interno del book di progetto sono presenti le analisi illuminotecniche del soggiorno-cucina e della camera-studio effettuate al mattino ed alla sera del 21 Giugno e del 21 Dicembre (solstizi).

Grazie allo studio illuminotecnico è stato possibile posizionare e dimensionare le porzioni di involucro trasparente al fine di garantire un'omogeneità della luce durante la maggior parte dell'anno.

Di seguito è riportata l'analisi annuale della luminanza del soggiorno per ogni mese dell'anno alle ore 10:00 ed alle 16:00.

fig. 8.356 - *Analisi della luminanza annuale media mensile - soggiorno ore 10:00*

fig. 8.357 - *Analisi della luminanza annuale media mensile - soggiorno ore 16:00*



A

fig. 8.358 - *Sezione appatamento Sud, piano 2, arredata. Scala 1.50*

fig. 8.359 - *Pianta prospettica appatamento Sud, piano 2, arredata. Scala 1:50*

INDICE DELLE TABELLE

ANALISI

tab. 6.1 - Temperature medie giornaliere di Milano 165
tab. 6.2 - Temperature medie mensili 166
tab. 6.3 - Valori del gradiente verticale di temperatura 166
tab. 6.4 - Temperature medie mensili di Milano 167
tab. 6.5 - Temperature medie annuali 167
tab. 6.6 - Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale 171
tab. 6.7 - Irradiazione solare giornaliera media mensile su superficie verticale 172
tab. 6.8 - Irradianza massima solare estiva incidente su superfici verticali 175
tab. 6.9 - Valori dell'angolo d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva 176
tab. 6.10 - Angolo di altezza solare ed azimutale massimi estivi (latitudine 46°) 176
tab. 6.11 - Precipitazioni rilevate a Milano dal 2000 al 2009 (ISTAT) 177
tab. 6.12 - Piovosità totale mensile dell'anno 2010 a Milano 177
tab. 6.13 - Umidità relativa media mensile a Milano 179
tab. 6.14 - Limiti medi per condizioni igrotermiche ottimali (Melino C. 1992) 180
tab. 6.15 - Diagramma di Olgyay relativo a Milano 180

PROGETTO

tab. 3.1 - Impostazioni dei parametri "raytrace" utilizzati per tutte le simulazioni 273
tab. 3.2 - Elenco parametri dei materiali impostati per il contesto 275
tab. 3.3 - Scenario isolato: risultati dell'analisi solare. 276
tab. 3.4 - Scenario inserito nel contesto: risultati dell'analisi solare. [Legenda: vedi sopra] 276
tab. 3.5 - Volumi complessivi divisi per tipo. 288
tab. 3.6 - Analisi e confronto tra i volumi iniziale ed ottimizzato 289
tab. 3.7 - Volumi a cui è stato sottratto il vano scale, considerato vano tecnico. 289
tab. 3.8 - Volume sottratto e recuperabile. 289
tab. 3.9 - Suddivisione del volume da recuperare nelle due serre. 289
tab. 3.10 - Dati e paramentri per ogni combinazione tra diversi scenari e elementi 301
tab. 3.11 - Verifica dei dati per ogni superficie. 304
tab. 4.12 - Vantaggi e svantaggi impianti dei diversi riscaldamento/raffrescamento 329
tab. 4.13 - Geometria e caratteristiche degli elementi disperdenti - MEDIATECA 341
tab. 5.14 - Dati generali per ogni superficie analizzata 371
tab. 5.15 - Dati e valori di irradiazione calcolati sulle superfici fotovoltaiche 371
tab. 5.16 - Dati dei moduli scelti per ogni superficie 380
tab. 5.17 - Film sottile amorfo e monocristallino: irradiazione 380
tab. 5.18 - Film sottile amorfo e monocristallino: guadagni solari 381
tab. 5.19 - Dati dei moduli scelti per ogni superficie 382
tab. 5.20 - Monocristallino rivestito con film di amorfo: irradiazione 382
tab. 5.21 - Monocristallino rivestito con film di amorfo: guadagni solari 383
tab. 5.22 - Dati dei moduli scelti per ogni superficie 384
tab. 5.23 - Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito da film di amorfo: irradiazione 384
tab. 5.24 - Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito da film di amorfo: guadagni solari 385
tab. 5.25 - Dati dei moduli scelti per ogni superficie 386
tab. 5.26 - Amorfo thin film high efficiency: irradiazione 386
tab. 5.27 - Amorfo thin film high efficiency: guadagni solari 387
tab. 5.28 - Scenario 1: mix Amorfo e Monocristalllino. 389
tab. 5.29 - Scenario 2: Monocristalllino rivestito da film di amorfo. 389
tab. 5.30 - Scenario 3: mix Amorfo thin film high efficiency e Monocristalllino rivestito con film di amorfo. 389
tab. 5.31 - Scenario 4: Amorfo thin film high efficiency. 389
tab. 6.32 - Gli attori della Progettazione Integrata 404

tab. 6.33 - Scomposizione dei requisiti (UNI 11227:2008) 417
tab. 7.34 - Comparazione tra le caratteristiche dei più comuni materiali da costruzione 462
tab. 7.35 - Laminati a caldo con profili a sezione aperta (rif. NTC2008 - tab. 11.3.IX). 467
tab. 7.36 - Caratteristiche dei bulloni (rif. NTC2008 - tab. 11.3.XII.a - tab. 11.3.XII.b). 468
tab. 7.37 - Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici (rif. NTC2008 - tab. 3.1.II). 473
tab. 7.38 - Valori del coefficiente di forma (rif. NTC2008 - tab. 3.4.II). 477
tab. 7.39 - Valori del coefficiente di esposizione per le diverse classi di topografia (rif. NTC2008 - tab. 3.4.I). 477
tab. 7.40 - Valore dei coefficienti di combinazione [NTC2008] 484
tab. 7.41 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU 485
tab. 7.42 - Carichi gravanti sul solaio espressi allo Stato Limite di Esercizio 487
tab. 7.43 - Lamiera grecata collaborante tipologia A. [h=5,5+5 cm] 488
tab. 7.44 - Valori di portata del solaio collaborante (tipologia A) 488
tab. 7.45 - Lamiera grecata collaborante tipologia B. [h=7,5+5 cm] 489
tab. 7.46 - Valori di portata del solaio collaborante (tipologia B) 489
tab. 7.47 - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie [NTC2008] 490
tab. 7.48 - Predimensionamento delle travi secondarie 491
tab. 7.49 - Verifica a flessione monoassiale delle travi secondarie 493
tab. 7.50 - Verifica a taglio delle travi secondarie 494
tab. 7.51 - Verifica a deformabilità delle travi secondarie 495
tab. 7.52 - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie [NTC2008] 496
tab. 7.53 - Predimensionamento delle travi primarie 498
tab. 7.54 - Verifica a flessione monoassiale delle travi primarie 499
tab. 7.55 - Verifica a taglio delle travi primarie 501
tab. 7.56 - Verifica a deformabilità delle travi primarie 502
tab. 7.57 - Posizione dei fori per le unioni bullonate e chiodate [NTC2008] 515
tab. 8.58 - Valori illuminamento e indice di resa cromatica [UNI10380] 525
tab. 8.59 - Valori minimi di illuminamento da garantire in un appartamento 531

INDICE DELLE IMMAGINI

fig. 1.1 - Cartografia di Milano, 1750 4
fig. 1.2 - Arco della pace, zona Sempione 5
fig. 1.3 - Visione del progetto per il Forio Bonaparte 5
fig. 1.4 - Cartografia di Milano, 1850 6
fig. 1.5 - Progetto per la Galleria de Cristoforis 7
fig. 1.6 - Planimetria del centro città con dettaglio su via Dante 7
fig. 1.7 - Galleria Vittorio Emanuele II 7
fig. 1.8 - Edificio in via Dante, Camillo Boito 8
fig. 1.9 - Edificio tra via Dante e via Gulini, Pirovano 8
fig. 1.11 - Edificio tra via Dante e via Gulini, Pirovano 8
fig. 1.10 - Progetto del Parco Sempione di E. Alemagna 8
fig. 1.12 - Palazzo Castiglioni di Sommaruga 9
fig. 1.13 - Casa Cappannini, Alfredo Capannini 9
fig. 1.14 - Ca' Brutta, Giovanni Muzio 9
fig. 1.15 - Casa della meridiana, Giuseppe de Finetti 10
fig. 1.16 - Edificio per abitazioni ed uffici in via T. Salvini, Piero Portaluppi 11
fig. 1.17 - Edificio per abitazioni ed uffici, Piero Portaluppi 11
fig. 1.18 - Nuovo Palazzo di Giustizia, Marcello Piacentini 13
fig. 1.19 - Palazzo della Borsa, Paolo Mezzanotte e Gio Ponti 13
fig. 1.20 - Palazzo dei sindacati fascisti, Luigi Caneva e Antonio Carminati 14
fig. 1.21 - Nuova stazione centrale, Ulisse Stacchini 14
fig. 1.25 - Progetto Quartiere modello, quartiere del popolo, SCM 15
fig. 1.22 - Casa Rustici, Pietro Ligeri e Giuseppe Terragni 15
fig. 1.23 - Casa Rustici Comolli, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni 15
fig. 1.24 - Casa Lavezzari, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni 15
fig. 1.26 - Casa in via Domenichino, Gio Ponti 16
fig. 1.27 - Casa e Torre Rasini, Gio Ponti 16
fig. 1.28 - Domus in via De Togni, la Julia, la Carola e la Fausta 16
fig. 1.29 - Masterplan quartiere QT8 19
fig. 1.30 - Masterplan quartiere QT8 19
fig. 1.31 - Logo INA Casa 19
fig. 1.32 - Quartiere INA Casa 20
fig. 1.33 - Palazzine INA Casa in corso Vittorio 20
fig. 1.34 - Edifici in via XXV Aprile 20
fig. 1.35 - Grattacielo Pirelli, Gio Ponti 20
fig. 1.36 - Torre velasca, BBPR 21
fig. 1.38 - Torre velasca, BBPR 21
fig. 1.37 - Stabilimento Kartel 21
fig. 1.39 - Milano 2 22
fig. 1.40 - Corte interna coperta della Pinacoteca di Brera 22
fig. 1.41 - Piccolo Teatro Strehler 22
fig. 1.42 - Teatro studio Fossati 22
fig. 1.43 - Teatro studio Fossati 22
fig. 1.44 - Progetto per parco Portello 25
fig. 1.45 - Residenze Portello 25
fig. 1.46 - Uffici per il nuovo Portello 26
fig. 1.47 - World Join Centre 27
fig. 1.48 - Dante benini e Partners Architects, Breathe Building, Via Torino 28
fig. 1.49 - Dante Benini e partners Architects, Breathe Building, Via Torino 28
fig. 1.50 - D&G Headquarter, +Arch 29
fig. 1.51 - La Serenissima, Park Associati 29
fig. 1.52 - Romolo Calabrese, Office Building 29
fig. 1.53 - Goring e Straja Architects, Palazzo della vetra 29

fig. 1.54 - Goring e Straja Architects, Palazzo della vetra 30
fig. 2.55 - Casa in via Dante 16 34
fig. 2.56 - Esempio di impianto planimetrico al piano terra 34
fig. 2.57 - Confronto tra forma del lotto 35
fig. 2.58 - ... e forma dell'edificio 35
fig. 2.59 - Edifici d'abitazione: via Dante 14 35
fig. 2.60 - Edifici d'abitazione: via Dante 15 36
fig. 2.61 - Edifici d'abitazione: via S. Vincenzo 14-16 36
fig. 3.62 - Milano tra il III sec.a.C. al XIII sec.d.C. 52
fig. 3.63 - Mappa del 1573 di Antonio Lafrery 53
fig. 3.64 - Mappa del 1735 di Marcantonio dal Re 53
fig. 3.65 - Piano Regolatore di Milano 1801 , Pinchetti 54
fig. 3.66 - Piano Regolatore di Milano 1807, Pinchetti 55
fig. 3.67 - Interventi tra il 1860 e il 1885 56
fig. 3.68 - Piano Beruto 1889 57
fig. 3.69 - 1912, Piano Pavia-Masera: quadrante di zona Brera 59
fig. 3.70 - Piano Albertini 1934 59
fig. 3.71 - 1934, Piano Albertini: quadrante di zona Brera 61
fig. 3.72 - Catasto Teresiano, Copia del 1751 61
fig. 3.73 - Nuovo Catasto Terreni, 1894-1902 62
fig. 3.74 - Catasto Lombardo-Veneto 1855 64
fig. 3.75 - Catasto Teresiano 1721 64
fig. 3.76 - Catasto Lombardo-Veneto 1855 65
fig. 3.77 - Catasto Cessato 1898 65
fig. 3.78 - IGM 1888 68
fig. 3.79 - IGM 1900 68
fig. 3.80 - IGM 1907 69
fig. 3.81 - IGM 1910 69
fig. 3.82 - IGM 1914 70
fig. 3.83 - IGM 1924 70
fig. 3.84 - IGM 1936 71
fig. 3.85 - IGM 1950 71
fig. 3.86 - Carta Tecnica Comunale 1946 71
fig. 3.87 - Carta Tecnica Comunale 1966 71
fig. 3.88 - Carta Tecnica Regionale 1985 71
fig. 3.89 - Carta Tecnica Regionale 1994 71
fig. 3.90 - Provincia di Milano 76
fig. 3.91 - Suddivisione del territorio di Milano 77
fig. 3.92 - PGT Comune di Milano Individuazione dei servizi commerciali 80
fig. 3.93 - PGT Comune di Milano Individuazione istituti di istruzione 84
fig. 3.94 - PGT Comune di Milano - Biblioteche rionali 85
fig. 3.95 - PGT Comune di Milano Individuazione delle aree destinate a parcheggio 88
fig. 3.96 - PGT Comune di Milano Individuazione verde pubblico 89
fig. 3.97 - Vincoli urbanistici del sito di progetto 90
fig. 3.98 - Tavola N. R01/2D, Piano delle Regole PGT di Milano 91
fig. 3.99 - Tavola N. R04/1, Piano delle Regole PGT di Milano. 92
fig. 3.100 - Metodo grafico per il calcolo della distanza tra edifici 93
fig. 3.101 - Schema delle dimensioni massime di progetto: prospetto nord. 94
fig. 3.102 - Schema delle dimensioni massime di progetto: prospetto est 94
fig. 5.103 - Rete degli Orti Botanici della Lombardia, logo 108
fig. 5.105 - Planimetria generale dell'Orto Botanico di Brera 111
fig. 5.104 - "Particolare della Pianta di Milano redatta dagli Astronomi di Brera", 1807 111
fig. 5.106 - G. Piermarini, "Progetto per le serre calde dell'Orto gBotanico di Brera", 1775 115
fig. 5.107 - P. Gilardoni, "Primo progetto per le nuove serre dell'Orto Botanico di Brera", 1811 116

fig. 5.108 - Fotografia della serra completata scattata alla fine del 1800 ..... *117*
fig. 5.109 - Muscari comosum (L.) Mill *119*
fig. 5.110 - Muscari armeniacum L. *119*
fig. 5.111 - Narcissus poeticus "Actaea" *120*
fig. 5.113 - Narcissus "Flower Drift" *120*
fig. 5.112 - Narcisi con piante perenni *120*
fig. 5.114 - Narcisi in diverse varietà *120*
fig. 5.115 - Tulipa turkestanica *121*
fig. 5.117 - Tulipa linifolia *121*
fig. 5.116 - Tulipa "Ballade" *121*
fig. 5.118 - Tulipa "Purissima" *121*
fig. 5.119 - Hyacinthus "Atlantic" *122*
fig. 5.121 - Hyacinthus "Pink Pearl" *122*
fig. 5.120 - Hyacinthus "Splendid Cornelia" *122*
fig. 5.122 - Hyacinthus "Fondant" *122*
fig. 5.123 - Leucojum aestivum L. *123*
fig. 5.125 - Tulipa clusiana DC. *123*
fig. 5.124 - Allium ursinum L. *123*
fig. 5.126 - Scilla sibirica L. *123*
fig. 5.127 - Vasca settecentesca di forma ellittica: era usata per l'irrigazione *127*
fig. 5.128 - Navigatore per rilievo fotografico *128*
fig. 5.129 - Foto 01. Vista dell'orto *129*
fig. 5.130 - Foto 02. Vista deil'orto dedicata ai fiori *129*
fig. 5.131 - Foto 03. Vista del restauro della serra. *129*
fig. 5.132 - Foto 04. Vista e dettaglio della facciata vetrata *130*
fig. 5.133 - Foto 05. Vista dell'orto nell'orto *130*
fig. 5.134 - Foto 06. Vista della specola di Brera *130*
fig. 5.135 - Foto 07. Vista ceppo di Maclura *131*
fig. 5.136 - Foto 08. Ginko Biloba - Esempio di solidarietà in natura. *131*
fig. 5.137 - Foto 09. Vista del lato della serra *131*
fig. 5.138 - Foto 10. Vista dell'orto dedicata alle essenze *132*
fig. 5.139 - Foto 11. Esempio di posizione di uno studente durante una lezione di botanica *132*
fig. 5.140 - Foto 12. Vasca settecentesca di forma ellittica: era usata per l'irrigazione *132*
fig. 5.141 - Foto 13. Vista dell'orto deidcata ai germogli *133*
fig. 5.142 - Foto 14. Dettaglio di collegamento tra la serra e il Palazzo di Brera *133*
fig. 5.143 - Foto 15. Piccola specola: costruita nella seconda metà dell'ottocento ; ospitava lo "strumento dei passaggi" per determinare con precisione il passaggio degli astri sul meridiano locale *134*
fig. 5.144 - Foto 16. Vista dell'aula. Costruita in occasione del restauro del 2001 utilizzando una vecchia tettoia. *134*
fig. 5.145 - Ex-Prof. Claudio Longo *135*
fig. 5.146 - Schema a guadagno diretto *140*
fig. 5.147 - Schema a scambio convettivo *140*
fig. 5.148 - Schema a scambio radiante *140*
fig. 5.149 - Accumulo a pavimento *142*
fig. 5.150 - Accumulo a parete *142*
fig. 5.151 - ccumulo centrale *142*
fig. 5.152 - Regime invernale diurno Serra a guadagno diretto *143*
fig. 5.153 - Regime invernale diurno Serra a scambio convettivo *143*
fig. 5.154 - Regime invernale diurno Serra a scambio radiati vo *143*
fig. 5.155 - Regime invernale notturno Serra a guadagno diretto *144*
fig. 5.156 - Regime invernale notturno Serra a scambio convettivo *144*
fig. 5.157 - Regime invernale notturno Serra a scambio radiativo *144*
fig. 5.158 - Regime estivo diurno Serra a guadagno diretto *145*
fig. 5.159 - Regime estivo notturno Serra a guadagno diretto *145*
fig. 5.160 - Lattuga *155*

fig. 5.161 - Pomodori 155
fig. 5.162 - Peperoni 155
fig. 5.163 - Zucchine 156
fig. 5.164 - Basilico 156
fig. 5.165 - Altre essenze 156
fig. 6.170 - Mappa climatica italiana DLSG 29.12.06 168
fig. 6.171 - Sezioni idrogeologiche del territorio di Milano 185
fig. 6.172 - Corsi d'acqua censiti a Milano 186
fig. 2.173 - Fronte strada via Palermo, MI 233
fig. 2.174 - Inquadramento planivolumetrico 235
fig. 2.175 - Prospetto sud 237
fig. 2.176 - Complesso edilizio in Corso Italia., Milano, di Luigi Moretti, 1951-53 238
fig. 2.177 - La Serenissima Office Building, recupero del progetto originale dei fratelli Soncini (1962) di Park Associati 239
fig. 2.178 - Salewa SPA Headquarter, Bolzano 2011, di Park Associati 239
fig. 2.179 - Biblioteca del parco Sempione, progettato da Ico Parisi per la X Triennale di Milano 239
fig. 2.180 - Biblioteca centrale di Monza, progetto di concorso, di AlterStudio Partners 240
fig. 2.181 - La nuova chiesa a Sesto San Giovanni (MI), di Cino Zucchi 240
fig. 2.182 - Serra dell'orto botanico di Brera, foto d'epoca 240
fig. 2.183 - Cité Internationale de Lyon, di Renzo Piano Building Workshop 242
fig. 2.184 - Edificio residenziale con rivestimento in pannellatura d'alluminio scuro, di Alucobond 243
fig. 2.185 - Fotoinserimento lungo via Palermo 247
fig. 2.186 - Esploso distributivo delle residenze 250
fig. 2.188 - Vista assonometrica d'angolo 251
fig. 2.187 - Viste degli ambienti interni dell'appartamenti tipo 251
fig. 2.191 - Sala conferenze - Mediateca di Santa Teresa 254
fig. 2.189 - Sala della Crociera - Mediateca di Santa Teresa 254
fig. 2.190 - Foto Storica - Mediateca di Santa Teresa 254
fig. 2.192 - Caffetteria vista esterno - Mediateca di Santa Teresa 255
fig. 2.193 - Impianto - Mediateca di Santa Teresa 255
fig. 2.194 - Sala della Crociera - Mediateca di Santa Teresa 256
fig. 2.195 - Caffetteria vista interno - Mediateca di Santa Teresa 258
fig. 2.196 - BiblioTech , Texsas 259
fig. 2.198 - Ashley Eklof - BiblioTech, Texas 260
fig. 2.197 - Impianto - BiblioTech, Texas 260
fig. 2.199 - e-reader Kindle di Amazon 262
fig. 2.200 - Schema distributivo di Me-Library 264
fig. 2.201 - Diverse configurazioni della sala polifunzionale: espansione della sala espositiva, sala multimediale e auditorium 265
fig. 3.202 - Ing. PhD Gabriele Lobaccaro 268
fig. 3.203 - Data cross reference system 271
fig. 3.204 - Volume di partenza ribassato per il contenimento energetico 272
fig. 3.205 - Volume ottimizzato secondo la radiazione solare 273
fig. 3.206 - Inquadramento planimetrico del volume di progetto 274
fig. 3.207 - Percorso solare di riferimento 274
fig. 3.208 - Analisi di tutte le componenti di radiazione solare: diretta, diffusa e riflessa 275
fig. 3.209 - DIVA-for-RHINO per la restituzione dell'irraggiamento sulle superfici del volume di partenza 277
fig. 3.210 - DIVA-for-RHINO per la restituzione dell'irraggiamento sulle superfici del volume ottimizzato 277
fig. 3.211 - Shell energetico su cui è massima la radiazione solare 278
fig. 3.212 - Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio d'estate] 280
fig. 3.213 - Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare 280
fig. 3.214 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale 280
fig. 3.215 - Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio d'estate] 281
fig. 3.216 - Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare 281
fig. 3.217 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale 281

fig. 3.218 - Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio di primavera] *282*
fig. 3.219 - Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare *282*
fig. 3.220 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale *282*
fig. 3.221 - Ecotect: analisi e studio delle ombre [solstizio di primavera] *283*
fig. 3.222 - Ecotect: radiazione solare. Analisi annuale e mappa solare *283*
fig. 3.223 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale *283*
fig. 3.224 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale senza il terreno [e la sua riflessione] *284*
fig. 3.225 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale con il terreno [e la sua riflessione]. *284*
fig. 3.226 - DIVA analisi: analisi solare dinamica annuale con il terreno [e la sua riflessione]. *284*
fig. 3.227 - Ecotect: solar irradiation for annual analysis solar maps of the Solar Active Shell *285*
fig. 3.228 - Shell energetico su cui è massima la radiazione solare *285*
fig. 3.229 - Quote altimetriche di riferimento dei due volumi comparati *288*
fig. 3.230 - Planimetria di progetto e dati generali delle superfici in pianta disponibili *289*
fig. 3.231 - Percorso solare di riferimento dell'area di progetto e del contesto *290*
fig. 3.232 - Schema dei passaggi logici e degli algoritmi utilizzati da Daysim *292*
fig. 3.233 - Schematizzazione dei modelli Perez per i diversi scenari di cielo *292*
fig. 3.235 - Modelli 3D con i sensori per il calcolo della radiazione *293*
fig. 3.234 - Screenshot dell'organizzazione del file di Grasshopper con collegamenti a Ecotect tramite Geco *293*
fig. 3.236 - Impostazione dei fattori che influenzano il programma per la simulazione di irraggiamento *297*
fig. 3.237 - Affissione del poster esplcativo del lavoro svolto *308*
fig. 3.238 - Partecipazione alle sessioni di esposizione dei paper *308*
fig. 4.240 - DPR Construction Headquarters in Phoenix, Arizona *318*
fig. 4.241 - Analisi termica di un infisso ad alte prestazioni termiche *327*
fig. 4.242 - Vision serra botanica e corte interna *327*
fig. 4.243 - Felce di Boston (Nephrolepis exaltata) *330*
fig. 4.244 - Schematic Design - Serra comportamento invernale *331*
fig. 4.245 - Schematic Design - Serra comportamento mezza stagione *331*
fig. 4.246 - Schematic Design - Serra comportamento estate *332*
fig. 4.247 - Interazione tra le risorse *333*
fig. 4.249 - Sezione impiantistica delle residenze *334*
fig. 4.248 - Schema di funzionamento di una pompa di calore geotermica *334*
fig. 4.251 - Pavimento radiante *335*
fig. 4.250 - Confronto tra la distribuzione utilizzando radiatori (a sinistra) e pannelli radianti (a destra) *335*
fig. 4.252 - Schema recuperatore di calore *336*
fig. 4.253 - Schema impianto di ventilazione a doppio flusso con recuperatore di calore *336*
fig. 4.254 - Sezione impiantistica - Mediateca *337*
fig. 4.255 - Schema di composizione di un'unità di trattamento aria *338*
fig. 4.256 - Schema di funzionamento dei sistemi a flusso laminare *339*
fig. 4.257 - Pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria *340*
fig. 4.258 - Gruppo di continuità (a sinistra) Server rack (a destra) *340*
fig. 4.259 - Indagine sui prezzi e consumo medio dell'acqua potabile *342*
fig. 4.239 - Geometria e caratteristiche degli elementi disperdenti - RESIDENZE *346*
fig. 4.260 - Dati generali *348*
fig. 4.261 - Dati certificatore *349*
fig. 4.262 - Dati APE *349*
fig. 4.263 - Dati impianto : ACS e riscaldamento con pompa di calore geotermica *350*
fig. 4.264 - Dati impianto : pompa di calore geotermica *351*
fig. 4.265 - Dati impianto fotovoltaico: centrale elettrica *352*
fig. 4.266 - Dati terminali dell'impianto *352*
fig. 4.267 - Dati per gli archivi *353*
fig. 4.268 - Dati serramenti per gli archivi *354*
fig. 4.269 - Dati involucro per gli archivi *354*
fig. 4.270 - Dati per i archivio ponti termici *355*
fig. 4.271 - Calcolo finale *355*

fig. 4.272 - Classificazione energetica 356
fig. 4.273 - APE 356
fig. 5.274 - Cella fotovoltaica in silicio monocristallino 369
fig. 5.275 - Schema semplificato di un impianto fotovoltaico e dei suoi collegamenti 382
fig. 5.276 - Analisi delle superfici fotovoltaiche 383
fig. 5.277 - Programma della JCR per il calcolo e il pre-dimensionamento dell'impianto fotovoltaico 388
fig. 5.278 - Scenario con amorfo in facciata e monocristallino in copertura 399
fig. 5.279 - Scenario con monocristallino su tette le superfici 401
fig. 5.280 - Scenario con Amorfo thin film high efficiency e monocristallino rivestito con film in amorfo 403
fig. 5.281 - Scenario con amorfo di ultima generazione su tutte le superfici 405
fig. 5.282 - Vista dal giardino dell'asilo 407
fig. 6.283 - Diagramma delle emissioni rispetto alle concentrazioni di CO_2 atmosferica 413
fig. 6.284 - Ripartizione dei consumi in Europa tra i diversi settori 414
fig. 6.285 - Consumo energetico globale degli edifici 414
fig. 6.286 - Sede Eurostat (istituto di statistica europeo) a Lussemburgo 415
fig. 6.287 - Organigramma Progettazione Integrata 420
fig. 6.288 - Inter-relarione tra l'aumento dei costi sulle modifiche prestazionali e decremento dell'impatto sulla perormance nelle diverse fasi progettuali 421
fig. 6.291 - Federal Center South Building, ZGF Architects LLP 428
fig. 6.290 - schema modalità e tecnica costruttiva S/R 428
fig. 6.289 - Sistema Ballon Frame 428
fig. 6.292 - Metodo costruttivo Blocco su blocco 429
fig. 6.293 - Metodo costruttivo Cassero/Riempimento 429
fig. 6.294 - Metodo costruttivo Struttura/Rivestimento 429
fig. 6.295 - Schema funzionale del sistema stratificato a secco 430
fig. 6.296 - Interazione tra edificio e ambiente 431
fig. 6.297 - Fotovoltaico a film sottile, IBM 436
fig. 6.299 - Comparazione tra sistema di isolamento a capotto e isolamento interno 437
fig. 6.298 - Tipologie di isolanti 437
fig. 6.300 - Esempio dello sfasamento delle temperature in un edificio 442
fig. 6.302 - Pannello in lana di legno 443
fig. 6.301 - Stratigrafia delle pareti perimetrali con senza lana di legno (a sinistra) e con lana di legno (a destra) 443
fig. 6.303 - Schema di comportamento di una facciata ventilata 445
fig. 6.304 - Composizione degli strati funzionali della soluzione tecnica Facciata Ventilata 447
fig. 6.306 - Serramento in alluminio al alte prestazioni termiche 449
fig. 6.305 - Comportamento dei vetri in inverno 449
fig. 6.307 - Berlinese con pali in acciaio 451
fig. 6.308 - Sistema di aggancio dell'aggraffatura 453
fig. 6.309 - Esempio di pavimento in gres porcellanato 459
fig. 6.310 - Esempio di una parete in cartongesso ad elevato potere fonoisolante 465
fig. 7.311 - Passerella ciclo pedonale realizzata con profili pultrusi (frazione Cà Bianca - Chioggia) 468
fig. 7.312 - Sumatra building Hamburg Designed by Erick van Egeraat 470
fig. 7.313 - Soluzione d'angolo strutturale del Cigno 470
fig. 7.314 - Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare intelaiato 471
fig. 7.315 - Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare con controventi concentrici 472
fig. 7.316 - Comportamento alle sollecitazioni orizzontali di un sistema strutturare con controventi eccentrici 472
fig. 7.317 - Tipologie strutturali di controvento 473
fig. 7.318 - Comportamento del reticolo strutturale alle azioni orizzontali 474
fig. 7.319 - Analisi cinematica del fronte Est del Cigno 475
fig. 7.321 - John Hancock Center, Chicago 476
fig. 7.320 - Comparazione il cantiere tradizionale ed a secco 476
fig. 7.324 - Eyecatcher building (GRP), 1999 Basel, Svizzera 478
fig. 7.322 - Torre per test nucleari realizzata con profili pultrusi GRP 478
fig. 7.323 - Aberfeldy Footbridge (GRP) Scozia 478

fig. 7.325 - Grafico sforzi-deformazioni di comparazione tra diversi materiali *479*
fig. 7.327 - W. Brandt Goldsworth (1915-2003), ingegnere meccanico laureato presso University of California a Berkeley *481*
fig. 7.326 - Schema del processo di pultrusione *481*
fig. 7.328 - Fiberline Building in Middlefart, Danimarca *482*
fig. 7.329 - Ponte pedonale, Madrid *483*
fig. 7.330 - struttura collassata per il carico da neve *493*
fig. 7.332 - Navigatore *498*
fig. 7.331 - Condizioni di carico della neve. Sezione A-A (a destra) e B-B a (sinistra) *498*
fig. 7.333 - Condizioni di carico della neve. Sezione D-D (a sinistra) e C-C a (destra) *499*
fig. 7.334 - Condizioni di carico della neve. Sezione E-E *500*
fig. 7.335 - Schema concettuale del metodo ad elementi finiti (FEM) *522*
fig. 7.336 - Viste del modello strutturale realizzato utilizzando il software Rhinoceros *523*
fig. 7.337 - Logo del software Rhinoceros della casa di produzione Robert McNeel & Associates *524*
fig. 7.338 - Parametri dei materiali utilizzati nell'analisi strutturale *524*
fig. 7.339 - Logo del software Sap2000 della casa di produzione CSi *525*
fig. 7.340 - Parametri degli elementi continui *526*
fig. 7.342 - Tipologie di carichi applicati *527*
fig. 7.341 - Parametri Shell Section per le tre tipologie di elementi considerate *527*
fig. 7.344 - Valori dei carichi applicati ai solai *528*
fig. 7.343 - Analisi strutturale della serra *528*
fig. 7.345 - Deformazioni strutturali dovute ai carichi in esercizio *529*
fig. 7.346 - Diagramma delle azioni interne della struttura del Cigno *530*
fig. 7.347 - Diagramma delle azioni assiali del pilastro verificato *532*
fig. 7.348 - Rappresentazione dell'unione bullonata trave primaria-trave secondaria (scala 1:5) *534*
fig. 8.349 - Lo spettro della radiazione solare *541*
fig. 8.350 - Capacità visiva dell'occhio *542*
fig. 8.351 - Green Lighthouse, University of Copenhagen *544*
fig. 8.352 - Biblioteca Sormani, Milano *545*
fig. 8.353 - Pianta appartamento Sud-Est Piano 2° - Fattore di Luce Diurno *546*
fig. 8.354 - Esempio di oscuranti a doppio rullo (chiaro e scuro) interni *547*
fig. 8.355 - Stralcio di prospetto Est *547*
fig. 8.356 - Analisi della luminanza annuale media mensile - soggiorno ore 10:00 ..... *551*
fig. 8.357 - Analisi della luminanza annuale media mensile - soggiorno ore 16:00 ..... *551*
fig. 8.358 - Sezione appatamento Sud, piano 2, arredata. Scala 1.50 ..... *553*
fig. 8.359 - Pianta prospettica appatamento Sud, piano 2, arredata. Scala 1:50 ..... *553*

RIFERIMENTI

BIBLIOGRAFIA

- ARRIGONI L., Pinacoteca di Brera, Guide Musei Touring Club Italiano, Milano, 1998.
- BASSI A., Antonio Citterio, Industrial design, Skira, 2004.
- BIRAGHI M., Storia dell'architettura contemporanea: 1750/1945, Piccola bibliote- ca Einaudi, Torino, 2008.
- BORIANI M., La costruzione della Milano moderna: casa e servizi in un secolo di storia cittadina, Clup, Milano, 1982.
- BORIANI M., MORANDI C., ROSSARI A., Milano contemporanea: itinerari di archi- tettura e urbanistica, Designers riuniti, Torino, 1986.
- BOTTICCINI C., ROVETTA G., Città antica architettura contemporanea, Maggioli editore, 2011.
- BUTERA F. M., Architettura e ambiente, Etas libri, Milano, 1995.
- CAPELLETTI A., Antonio Citterio, Architettura e design, Skira, 2006.
- DE FINETTI G., Milano: Costruzione di una città, Hoepli, 2002.
- GAVINELLI C., Architettura contemporanea: dal 1943 agli anni '90, Jaca Book, Mi- lano, 1998.
- GOTTFRIED A, Ergotecnica edile: sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di casse- ratura, macchinari e automazione del cantiere, Esculapio, Bologna, 1995.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Ergotecnica edile, Esculapio, Bologna, 2011.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Ergotecnica edile, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna, 2011.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Progettazione e gestione della sicurezza nei can- tieri edili, Utet, Milano, 2011.
- GOTTFRIED A., Ergotecnica edile: applicazioni di metodi e strumenti, Esculapio, Bologna, 1995.
- GRAMIGNA G., MAZZA S., Milano, un secolo di architettura milanese dal Cordusio alla Bicocca, Milano, Hoepli, 2001.
- GRAMIGNA G., MAZZA S., Storia dell'architettura italiana: il primo novecento, a cura di Giorgio Ciucci e Giorgio Muratore, Electra, Milano, 2004.
- GRANDI M., PRACCHI A., Guida all'architettura moderna, Zanichelli, Bologna, 1980.
- IMPERADORI M., BRASCA M., Compasso volante Dieci anni … insieme, Polipress, Milano, 2009.
- IMPERADORI M., La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco, Il Sole 24 Ore, Milano, 2010.
- IMPERADORI M., La progettazione con tecnologia stratificata a secco, Il Sole 24 Ore S.p.A., Milano, 2006.
- IMPERADORI M., SENATORE A., Schematic Design, tecniche ed esempi di comuni- cazione del progetto, Il sole 24 0re, , Milano, 2011.

- ARRIGONI L., Pinacoteca di Brera, Guide Musei Touring Club Italiano, Milano, 1998.
- BASSI A., Antonio Citterio, Industrial design, Skira, 2004.
- BIRAGHI M., Storia dell'architettura contemporanea: 1750/1945, Piccola bibliote- ca Einaudi, Torino, 2008.
- BORIANI M., La costruzione della Milano moderna: casa e servizi in un secolo di storia cittadina, Clup, Milano, 1982.
- BORIANI M., MORANDI C., ROSSARI A., Milano contemporanea: itinerari di archi- tettura e urbanistica, Designers riuniti, Torino, 1986.
- BOTTICCINI C., ROVETTA G., Città antica architettura contemporanea, Maggioli editore, 2011.
- BUTERA F. M., Architettura e ambiente, Etas libri, Milano, 1995.
- CAPELLETTI A., Antonio Citterio, Architettura e design, Skira, 2006.
- DE FINETTI G., Milano: Costruzione di una città, Hoepli, 2002.
- GAVINELLI C., Architettura contemporanea: dal 1943 agli anni '90, Jaca Book, Mi- lano, 1998.

- GOTTFRIED A, Ergotecnica edile: sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di casse- ratura, macchinari e automazione del cantiere, Esculapio, Bologna, 1995.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Ergotecnica edile, Esculapio, Bologna, 2011.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Ergotecnica edile, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna, 2011.
- GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., Progettazione e gestione della sicurezza nei can- tieri edili, Utet, Milano, 2011.
- GOTTFRIED A., Ergotecnica edile: applicazioni di metodi e strumenti, Esculapio, Bologna, 1995.
- GRAMIGNA G., MAZZA S., Milano, un secolo di architettura milanese dal Cordusio alla Bicocca, Milano, Hoepli, 2001.
- GRAMIGNA G., MAZZA S., Storia dell'architettura italiana: il primo novecento, a cura di Giorgio Ciucci e Giorgio Muratore, Electra, Milano, 2004.
- GRANDI M., PRACCHI A., Guida all'architettura moderna, Zanichelli, Bologna, 1980.
- IMPERADORI M., BRASCA M., Compasso volante Dieci anni … insieme, Polipress, Milano, 2009.
- IMPERADORI M., La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco, Il Sole 24 Ore, Milano, 2010.
- IMPERADORI M., La progettazione con tecnologia stratificata a secco, Il Sole 24 Ore S.p.A., Milano, 2006.
- IMPERADORI M., SENATORE A., Schematic Design, tecniche ed esempi di comuni- cazione del progetto, Il sole 24 0re, , Milano, 2011.
- IRACE F. , Gio Ponti, La casa all'italiana, Electa, Milano, 1995.
- IRACE F., Giò Ponti, la casa all'italiana, Electra, Milano, 1995.
- KOTNIK J., Container architecture, Links Books, 2008.
- LICITRA PONTI L., Gio Ponti, l'opera, Leonardo Editore, Milano, 1990.
- LINGER J., I cantieri, edizioni C.E.L.I., Bologna, 1973.
- MASERA G., Residenze e risparmio energetico, Il Sole 24 Ore S.p.A., Milano, 2004.
- MIDDLETON R., WATKIN D., Architettura dell'Ottocento, Electa, Milano, 1988.
- MONEO R., Costruire nel costruito, a cura di Michele Bonino, 2006.
- MOTTA G., PIZZIGONI A., La casa e la città: saggi di analisi urbana e studi applicati alla periferia, CLUP Città Studi, Milano, 1991.
- MUSCOGIURI M., Architettura delle biblioteca - linee guida per laprogrammazione e progettazione, Edizioni Silvestre Bonnard, 2011.
- MUSCOGIURI M., Strategie di progetto per le biblioteche del xxi secolo.
- PIETRABISSA R., Campus Point un prototipo di centro di ricerca aperto, Polipress, Milano,2008.
- POLANO S., Achille Castiglioni 1918-2002, Electa, Milano, 2007.
- POLITO S., Costruire nei centri storici, a cura di Adriana De Marco, Cuen editore, 2005.
- SZOKOLAY S.V., Introduzione alla progettazione sostenibile, Ulrico Hoepli, Milano, 2004.
- TALIERCIO A., Introduzione alla meccanica dei solidi, Progetto Leonardo Escula- pio, Bologna, 2006
- TONIOLO G., DI PRISCO M., Appunti di tecnica delle costruzioni: elementi struttu- rali in acciaio, Zanichelli, Bologna, 2001.
- TONIOLO G., DI PRISCO M., Calcolo strutturale i telai, Zanichelli, Bologna, 2001.
- TONIOLO G., DI PRISCO M., Cemento armato: calcolo agli stati limite, Terza edizi- zone, Vol.2A, Zanichelli, Bologna, 2001.
- TONIOLO G., DI PRISCO M., Cemento armato: calcolo agli stati limite, Terza edizi- zone, Vol.2B, Zanichelli, Bologna, 2001.
- VITILLO P. FERRARI F., Brera, Garibaldi città storica, moderna e contemporanea, itinerari di architettura milanese, 2011.
- Ecofys Germany GmbH, Danish Building Research Institute (SBi), Principles for

nearly zero- energy buildings - Paving the way for effective implementation of policy requirements, Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.
- M. HEGGER, M. FUCHS, T. STARK e M. ZEUMER, Energy Manual. Sustainable architecture., Basel: Birkhäuser, Edition Detail, 2008.
- M. MONTAVON, «Optimisation of Urban Form by the Evaluation of the Solar Potential,» École Politechnique Fèdèrale de Lausanne, Losanne, 2010.
- V. VANNINI, B. TURKIENICZ e A. KRENZINGER, "Geometric optimization of building façades for BIPV," in Proceedings of the Energy Forum 2012, Bressanone, Italy, 2011.
- R. COMPAGNON, «Solar and daylight availability in the urban fabric,» Energy and Buildings, vol. 36, pp. 321 - 328, 2004.
- R. COMPAGNON AND D. RAYDAN, "Irradiance and illuminance distributions in urban areas," in In Proceedings of PLEA 2000, Cambridge UK, July 2000.
- M. MONTAVON, J. SCARTEZZINI AND R. COMPAGNON, "Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments," in In PLEA2004, Eindhoven, The Netherlands, 2004.
- G. LOBACCARO, G. MASERA e T. POLI, "Solar district: design strategies to exploit the solar potential of urban areas," in Proceedings of the XVIII IAHS World Congress, Istanbul, Turkey, 2012.
- G. LOBACCARO, F. FIORITO, G. MASERA e T. POLI, "District Geometry Simulation: A Study for the Optimization of Solar Façades in Urban Canopy Layers," Energy Procedia, vol. 30, pp. 1163-1172, 2012.
- G. LOBACCARO, F. FIORITO, G. MASERA e D. PRASAD, "Urban solar district: a case study of geometric optimization of solar façades for a residential building in Milan," in Solar 2012 Conference, Melbourne, 2012.
- DAVID RUTTEN AND ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES., «Rhinoceros and Grasshopper software».
- HARVARD UNIVERSITY, National Research Council Canada, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, «Daysim version 3.1b,,» 2010.
- D. IBARRA AND C. REINHART, "Solar availability: a comparison study of six irradiation distribution methods.," in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association., Sydney, 2011.
- GRADUATE SCHOOL OF DESIGN AT HARVARD UNIVERSITY - SOLEMMA LLC, «DIVA for Rhino,» 2013.
- Arketipo: Housing, n.66, Gruppo24ore, Milano, Settembre 2012.
- Arketipo: Milano, n.72, Gruppo24ore, Milano, Aprile 2013.
- Arketipo: Prefabbricazione, n.71, Gruppo24ore, Milano, Marzo 2013.
- Arketipo: Pre-fabbricazione, Supplemento 7 al n.44, Gruppo24ore, Milano, 2010.
- Arketipo: Protezioni Solari, Supplemento 8 al n.46, Gruppo24ore, Milano, 2010.
- Casabella: Tipi e tecniche nella espansione abitativa, a cura di Scacchetti L., XLIII, pp.37-44, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1979.
- Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Ambiti, Brera-Garibaldi città storica, moderna e contemporanea, a cura di Piergiorgio Vitillo e Federico Ferrari, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pia- nificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano, s.d..
- Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Figure, Luigi Caccia Dominioni, a cura di Alberto Gavazzi e Marco Martegani, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano s.d..
- città, Figure, Luigi Caccia Dominioni, a cura di Alberto Gavazzi e Marco Martegani, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano s.d..
- Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Temi, La casa popolare, a cura di Marco

Lucchini, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano, s.d..
- L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1892.
- L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1893.
- L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1895.
- GIORGIO RUMI, ADELE CARLA BURATTI, ALBERTO COVA, Milano ricostruisce 1945-1954, a cura di Cariplo, Milano 1990.
- Milano: percorsi del progetto, a cura di Paolo Caputo, A. Guerini, Milano, 1993.
- Mostra premio Compasso Volante Ettore Zambelli: Smart architecture Milano city center, 14th edizione, Politecnico di Milano, Milano Urban center, 2012.
- Progettare, Architettura, città e territorio, a cura di Francesca Malerba, Rosanna Tavano, n.42, Tecniche nuove, 2008.
- "Storia dell'Architettura II", a cura di Ornella Selvafolta, Facoltà di Ingegneria-Ar- chitettura, Politecnico di Milano, A.A. 2009/10.
- "Sistemi edilizi ad alta efficienza energetica", a cura di Graziano Salvalai, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2011/12.
- Archivio di Stato, Milano (ottenuto online: http://esx-archiviomi.cilea.it/Diveni- re/home.htm).
- Servizio Bibliotecario TEDOC, Biblioteca Centrale di Architettura, Milano.
- Ufficio centrale di meteorologia ed ecologia agraria (fino al 1930); Elaborazioni Istat su dati del Servizio idrografico nazionale (dal 1931).
- Decreto Ministeriale 5 luglio 1975: Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giu- gno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari princi- pali dei locali di abitazione.
- Decreto Ministeriale 14 giugno 1989 n. 236: Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visibilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'e- liminazione delle barriere architettoniche.
- Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285: "Nuovo codice della strada".
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192: Attuazione della direttiva 2002/91/ CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311: "Disposizioni correttive ed integra- tive al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della diretti- va 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia".
- Decreto Ministeriale 22 maggio 2007 n. 43: Standard minimi dimensionali e qualitativi e linee guida relative ai parametri tecnici ed economici concernenti la realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari di cui alla legge 14 novembre 2000 n. 338.
- Decreto Ministeriale 14/01/2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, N. 81: Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- Regolamento Locale d'Igiene: Regolamento approvato dal Consiglio Comunale nelle seduta del 9 maggio 1994 con deliberazione n. 172/84 - Atti N. 133296.400 PG. 94, comprensivo di successive modificazioni ed integrazioni.
- Regolamento Edilizio del Comune della città di Milano: Regolamento approvato con deliberazione del consiglio comunale n. 81 del 20 luglio 1999.
- UNI 8290-1:1981: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e ter- minologia.
- UNI 8290-2:1983: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti.
- UNI 8290-3:1987: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti.

- UNI ENV 1992-1-1:1993: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calce- struzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Norma UNI 10349:1994: riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati cli- matici.
- UNI ENV 1993-1-1:1994: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI ENV 1993-1-3:2000: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo.
- UNI EN ISO 10077/2007: Parte 1 e 2: Prestazione termica di finestre, porte chiu- sure oscuranti.
- UNI EN 15251/2008: Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica
- UNI/TS 11300-1:2008: Determinazione del fabbisogno di energia tecnica dell'edi- ficio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- UNI/TS 11300-2:2008: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climiatizzazione invernale e la produzione di HCS.
- UNI/TS 11300-3:2010: Prestazione energetica degli edifici - Parte 3 - Determina- zione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- UNI 10339: 2010: Impianti aeraulici ai fini del benessere.
- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1892
- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1893
- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1895
- M. GRANDI, A. PRACCHI, Milano. Guida all'architettura moderna, Zanichelli, Bologna, 1980.
- MAURIZIO BORIANI, La costruzione della Milano moderna: casa e servizi in un secolo di storia cittadina, Clup, Milano, 1982
- MAURIZIO BORIANI, CORINNA MORANDI, AUGUSTO ROSSARI, Milano contemporanea : itinerari di architettura e urbanistica, Designers riuniti, Torino, 1986.
- R. MIDDLETON, D. WATKIN, Architettura dell'Ottocento, Electa, Milano 1988
- GIANCARLO MOTTA, ANTONIA PIZZIGONI, La casa e la città : saggi di analisi urbana e studi applicati alla periferia, CLUP CittàStudi, Milano, 1991.
- F. IRACE, Gio Ponti, La casa all'italiana, Electa, Milano, 1995.
- ARRIGONI LUISA, Pinacoteca di Brera, Guide Musei Touring Club Italiano, Milano, 1998
- CORRADO GAVINELLI, Architettura contemporanea : dal 1943 agli anni '90, Jaca Book, Milano, 1998
- PIAGGIO, JUAN MARTIN, Nuova sede del Piccolo Teatro di Milano, in "Costruire in laterizio", 1999.
- Milano. Un secolo di architettura milanese dal Cordusio alla Bicocca Milano, 2001.
- G. GRAMIGNA, S. MAZZA, Hoepli, Storia dell'architettura italiana: il primo Novecento, a cura di Giorgio Ciucci e Giorgio Muratore, Electa, Milano 2004.
- MARCO BIRAGHI, Storia dell'architettura contemporanea: 1750-1945, Piccola biblioteca Einaudi, Torino, 2008.
- Casabella 1928-2008, a cura di Chiara Baglione, Electa, Milano, 2008.
- Lezioni del corso "Storia dell'architettura II" a cura di Ornella Selvafolta, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A.2009/10.
- "Corriere della sera", 4 Giugno 2010.

- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1892
- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1893
- L'edilizia moderna : periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1895
- Scacchetti L., Tipi e tecniche nella espansione abitativa, in «Casabella», XLIII, 451-452 (ottobre-novembre 1979), pp. 37-44
- Edilizia Moderna, Costuire in Lombardia 1880-1980, a cura di Ornella Selvafolta, Electa, Milano 1985
- Milano ricostruisce 1945-1954, a cura di Giorgio Rumi, Adele Carla Buratti, Alberto Cova, Cariplo, Milano 1990
- GIANCARLO MOTTA, ANTONIA PIZZIGONI, La casa e la città : saggi di analisi urbana e studi applicati alla periferia, CLUP CittàStudi, Milano 1991
- Milano: percorsi del progetto, a cura di Paolo Caputo, A. Guerini, Milno, 1993
- MAURIZIO BORIANI, CORINNA MORANDI, Milano Contemporanea, Itinerari di architettura e urbanistica, Clup, Milano 2006
- DE FINETTI GIUSEPPE, Milano: Costruzione di una città, Hoepli, 2002
- Piergiorgio Vitillo, Federico Ferrari, Brera – Garibaldi città storica, moderna e contemporanea, itinerari di architettura milanese, 2011
- Servizio Bibliotecario TEDOC, Biblioteca Centrale di Architettura,Milano
- Archivio di Stato, Milano, via senato 10
- DE FINETTI GIUSEPPE, Milano: Costruzione di una città, Hoepli, 2002
- Servizio Bibliotecario TEDOC, Biblioteca Centrale di Architettura, Milano
- Archivio di Stato, Milano, Via Senato 10
- Norma UNI 10349
- CORBO LEONARDO, La progettazione antincendio, Il sole 24 ore, 2007
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture realizzate con Profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP), ROMA – CNR 9 Ottobre 2008
- Progettazione di strutture in acciaio, S.Arangio, F. Bucchi, F. Bontempi, Promozione acciaoio, 2009
- Sviluppo Di Materiali Compositi Rinforzati Con Fibre Naturali Per L'ingegenria Civile, Ing. Giuseppe Cristaldi, Prof. Ing. Gianluca Cicala.
- La biblioteca pubblica tra tradizione e innovazione, Docente: Dorit Raines Partecipanti: Giorgio Alberti, Laura Barosco, Susanna Zattarin, Catrin Zulian, Università Ca' Foscari, Venezia, 2002.

SITOGRAFIA

- http://www.comune.milano.it
- http://www.architetturadipietra.it
- http://www.wjc.it
- http://esx-archiviomi.cilea.it/Divenire/home.htm (Archivio di Stato Milano)
- http://www.atlantestoricolombardia.it (Atlante dei Catasti Storici e delle Carte Topografiche della Lombardia)
- http://www.miol.it/stagniweb/mappe.htm#mappemi (consultazione per Mappe Storiche di Milano)
- http://www.storiadimilano.it/citta/mappe/mappe.htm (consultazione mappe storiche di Milano)
- http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=582240&page=5 (consultazione mappe storiche di Milano)
- http://nero.noblogs.org/post/2006/12/10/cartografie-milanesi-1300-1860 (mappe di Milano tra 1300 e 1860)
- http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=582240&page=5
- http://nero.noblogs.org/post/2006/12/10/cartografie-milanesi-1300-1860
- http://esx-archiviomi.cilea.it/Divenire/home.htm
- http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2012/02/09/isole-verdi-orti-biblioteca-degli-alberi-porta.html
- http://www.comune.milano.it/portale/wps/portal/CDM?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/contentlibrary/In%20Comune/In%20Comune/Strategia%20di%20Sviluppo/Grandi%20Progetti/Garibaldi%20Repubblica_Strategie%20di%20Sviluppo_Grandi%20Progetti
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=259
- http://www.archilovers.com/p374/Altra-Sede-Regione-Lombardia#info
- http://europaconcorsi.com/projects/75168-TORRE-RCS
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=51
- http://www.proiter.it/santagiulia_milano.html
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=49
- http://europaconcorsi.com/projects/119269-C-E-R-B-A-Milano
- http://it.wikipedia.org/wiki/Accademia_di_belle_arti_di_Brera
- http://www.breradesigndistrict.it/
- http://www.expo2015.org/
- http://it.wikipedia.org/wiki/Expo_2015
- http://saint-andres.blogspot.com/2010/06/milano-progetto-city-life-3-grattacieli.html
- http://www.comune.milano.it/portale/wps/portal/CDM?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/ContentLibrary/In%20Comune/In%20Comune/Strategia%20di%20Sviluppo/Grandi%20Progetti/Portello_Strategie%20di%20Sviluppo_Grandi%20Progetti
- http://www.casamilanoisola.it/acquisto_stabile_zona_garibaldi.html
- http://www.stefanocosta.it/garibaldi_repubblica.htm
- http://www.laszecca.org/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=3&id=21&Itemid=106/
- http://www.co-housing.it/cantieri-isola-una-diversa-citta-della-moda-e-in-costruzione/
- http://www.edilportale.com/news/2006/05/architettura/citt%C3%A0-della-moda-squadra-di-architetti-al-completo_8111_3.html
- http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2012/02/09/isole-verdi-orti-biblioteca-degli-alberi-porta.html
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=259

- http://www.archilovers.com/p374/Altra-Sede-Regione-Lombardia#info
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=51
- http://europaconcorsi.com/projects/75168-TORRE-RCS
- http://www.proiter.it/santagiulia_milano.html
- http://www.urbanfile.it/index.asp?ID=3&SID=49
- http://europaconcorsi.com/projects/119269-C-E-R-B-A-Milano
- http://it.wikipedia.org/wiki/Accademia_di_belle_arti_di_Brera
- http://www.breradesigndistrict.it/
- http://www.tutiempo.net/
- http://www.cti2000.it/
- http://it.wikipedia.org
- http://www.uni.com/
- http://www.istat.it/it/
- http://ita.arpa.it
- http://www.ilmeteo.it/
- www.abitare.it
- www.accademiadibrera.milano.it
- www.achillecastiglioni.it
- www.aermec.com
- www.alho.com
- www.archdaily.com
- www.archilovers.com
- www.archinfo.it
- www.archiportale.com
- www.architetturadipietra.it
- www.architetturaecosostenibile.it
- www.arturomontanelli.com
- www.assets.inhabitat.com
- www.astorideponti.it
- www.atlantestoricolombardia.it
- www.breradesigndistrict.it
- www.campuspoint.polimi.it
- www.cantieri-sicurezza.it
- www.cargotecture.com
- www.centralinteriordesign.com
- www.co-housing.it
- www.comune.milano.it
- www.covepark.org
- www.cptmilano.it
- www.cti2000.it
- www.CTProma.it
- www.divenire.com
- www.doka.it
- www.edilportale.com
- www.edilsider.com
- www.efficienzaenergetica.enea.it
- www.enea.it
- www.energy.gov
- www.eurolex.europa.eu
- www.europaconcorsi.com
- www.expo2015.org
- www.fabprefab.com
- www.fondazione.ordinearchitetti.mi.it
- www.fondazionispecialimilano.it

- www.gaeaulenti.it
- www.ilmeteo.it
- www.istat.it
- www.ita.arpa.it
- www.italia.cat.com
- www.keetwonen.nl
- www.kermi.it
- www.liebherr.it
- www.lombardiabeniculturali.it
- www.marcegaglia.it/building
- www.marraffasrl.it
- www.mi.camcom.it
- www.omcprofilati.it
- www.osservatoriokyoto.it
- Www.potain.it
- www.prestinenza.it
- www.proiter.it
- www.regionelombardia.it
- www.rossatogroup.com
- www.sitalklima.it
- www.skyscrapercity.com
- www.stoitalia.it
- www.storiadimilano.it
- www.tietgenkollegiet.dk
- www.trasporti.regione.lombardia.it
- www.trnsys.com
- www.tutiempo.net
- www.uni.com
- www.urbanfile.it
- www.varem.com
- www.zucchiarchitetti.com

RINGRAZIAMENTI

Il Cigno è il risultato di un percorso formativo che ha segnato profondamente la mia persona, le mie competenze e certamente il mio futuro. In questi anni di studio ho avuto il piacere di incontrare molte persone che mi hanno insegnato con passione, dedizione, pazienza e fiducia. E' con altrettanto carattere che intendo portare con me i vostri insegnamenti sia nella carriera che nella vita.

In particolare desidero ringraziare:

Gabriele Masera, per avermi guidato in questi anni di università prima come insegnante e poi come relatore. Mi ritengo molto fortunato ad averla incontrata, è con lei che ho iniziamo questo percorso e sono felice di concluderlo con la sua approvazione.

Marco Imperadori, per le opportunità che hanno alimentato la mia passione e per i consigli, i suggerimenti e le critiche, elementi fondamentali per la mia crescita personale e professionale.

Marco Muscogiuri, per essersi appassionato a questo progetto offrendomi la sua grande competenza ed il suo supporto.

Matteo Brasca, per le esperienze condivise a cavallo dei due emisferi in veste di professore, datore di lavoro e compagno di viaggio.

Matteo Colombo, per la disponibilità, l'aiuto e l'interesse che mi ha mostrato, oltre che per la solarità, le competenze e la professionalità con cui mi ha trasmesso la sua conoscenza.

A *Gabriele Lobaccaro*, per avermi reso personalmente partecipe del suo percorso di ricerca ed al quale auguro una meritata carriera professionale all'altezza delle sue aspettative e competenze.

Vi ringrazio per avermi dato gli strumenti per continuare il mio viaggio con il sorriso.

I miei più sinceri auguri,