





POLITECNICO DI MILANO - Polo Territoriale di Lecco  
ANNO ACCADEMICO 2014 - 2015  
Scuola di Ingegneria Edile - Architettura  
Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

# URB-e<sup>2</sup>

## Urban Residential Building Energy Efficient

Progetto di un edificio residenziale urbano ad alta efficienza energetica nel quartiere di Brera, Milano

TESI DI LAUREA DI:

Mauro Piazzon 716118

Annalisa Ravasi 718063

RELATORE: Prof. Graziano Salvalai

CO-RELATORE: Prof. Pietro Tagliabue



# INDICE

ABSTRACT

PREMESSA.....pag.1



## CAPITOLO 1 ANALISI PRELIMINARI

1.1 **EVOLUZIONE URBANA DI MILANO**.....pag.7

1.1.1 CATASTO TERESIANO - 1720/23.....pag.9

1.1.2 PIANO DEL 1801 - PINCHETTI.....pag.10

1.1.3 PIANO DEL 1807 - PIANO REGOLATORE NEOCLASSICO.....pag.10

1.1.4 CATASTO LOMBARDO VENETO - 1855.....pag.11

1.1.5 INTERVENTI TRA IL 1860 E IL 1885.....pag.11

1.1.6 PIANO DEL 1889 - PIANO BERUTO.....pag.12

1.1.7 CATASTO CESSATO - 1898.....pag.12

1.1.8 PIANO DEL 1912 - PIANO PAVIA-MASERA.....pag.13

1.1.9 PIANO DEL 1934 - PIANO ALBERTINI.....pag.13

1.1.10 CARTOGRAFIA ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE.....pag.14

1.1.11 EVOLUZIONE STORICA DELL'AREA DI PROGETTO.....pag.16

1.1.12 SCHEMA CRONOLOGICO DELLA PIANIFICAZIONE URBANA.....pag.21

1.2 **EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA RESIDENZIALE**.....pag.24

1.2.1 L'EDILIZIA DEL CENTRO STORICO MILANESE FINO ALL'800.....pag.24

1.2.2 LE TIPOLOGIE EDILIZIE DEL PIANO BERUTO.....pag.26

1.2.3 L'EDILIZIA RESIDENZIALE AGLI INIZI DEL XX SECOLO.....pag.28

1.2.4 L'EDILIZIA RESIDENZIALE TRA LE DUE GUERRE.....pag.31

1.2.5 L'EDILIZIA RESIDENZIALE NEL SECONDO DOPO GUERRA.....pag.36

1.2.6 L'EDILIZIA RESIDENZIALE DAGLI ANNI '60 AD OGGI.....pag.37

1.2.7 IL TESSUTO URBANO MILANESE.....pag.42

1.3 **ANALISI URBANISTICA**.....pag.48

1.3.1 INQUADRAMENTO DEL LOTTO DI PROGETTO.....pag.48

1.3.2 RILIEVO MATERICO E CROMATICO.....pag.50

1.3.3 ACCESSIBILITÀ E TRASPORTI.....pag.53

1.3.4 SERVIZI.....pag.57

1.3.5 DEMOGRAFIA.....pag.62

1.4 **ANALISI CLIMATICA**.....pag.64

1.4.1 POSIZIONE GEOGRAFICA.....pag.64

1.4.2 TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA.....pag.65

1.4.3 RADIAZIONE SOLARE.....pag.69

1.4.4 IL VENTO.....pag.76

1.4.5 PRECIPITAZIONI.....pag.79

1.4.6 UMIDITÀ RELATIVA.....pag.80

1.4.7 COMFORT IGROTHERMICO.....pag.81





## CAPITOLO 2 PROGETTO ARCHITETTONICO

2.1 <b>VINCOLI URBANISTICI</b> .....	pag.85
2.2 <b>EDILIZIA RESIDENZIALE A SCALA URBANA</b> .....	pag.93
2.2.1 RESIDENZE DI WANSEY STREET, LONDRA.....	pag.93
2.2.2 RESIDENZE IN RUE LOUIS BLANC, PARIGI.....	pag.94
2.2.3 RESIDENZE “THE MOUNTAIN”, COPENAGHEN.....	pag.96
2.2.4 ASPETTI PROGETTUALI RICORRENTI.....	pag.97
2.3 <b>CONCEPT ARCHITETTONICO</b> .....	pag.98
2.3.1 DIRITTO ALLA LUCE.....	pag.98
2.3.2 CARATTERI ARCHITETTONICI.....	pag.102
2.3.3 STRATEGIE ENERGETICHE.....	pag.106
2.3.4 APPROFONDIMENTO SULLE SERRE BIOCLIMATICHE .....	pag.108
2.4 <b>PLANIVOLUMETRICO DI PROGETTO</b> .....	pag.112
2.5 <b>LAYOUT DISTRIBUTIVO</b> .....	pag.114
2.5.1 FUNZIONI PUBBLICHE .....	pag.115
2.5.2 FUNZIONI RESIDENZIALI.....	pag.120
2.5.3 LE TIPOLOGIE RESIDENZIALI.....	pag.130
2.6 <b>PROSPETTI ARCHITETTONICI</b> .....	pag.141



## CAPITOLO 3 ANALISI ILLUMINOTECNICA

3.1 <b>FONDAMENTI DI ILLUMINOTECNICA</b> .....	pag.151
3.1.1 COMFORT LUMINOSO.....	pag.153
3.2 <b>STUDIO DEL SOLEGGIAMENTO</b> .....	pag.156
3.3 <b>ILLUMINAMENTO DELLE RESIDENZE</b> .....	pag.169
3.3.1 ALLOGGIO MONOLOCALE.....	pag.170
3.3.2 ALLOGGIO BILOCALE.....	pag.172
3.3.3 ALLOGGIO TRILOCALE.....	pag.174
3.3.4 ALLOGGIO DUPLEX.....	pag.176
3.3.5 ALLOGGIO ATTICO.....	pag. 178



## CAPITOLO 4 TECNOLOGIA COSTRUTTIVA

4.1 <b>TECNOLOGIE STRUTTURA/RIVESTIMENTO</b> .....	pag.185
4.1.1 MATERIALE PER LA STRUTTURA.....	pag.186
4.1.2 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO TERMICO.....	pag.187
4.1.3 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO ACUSTICO.....	pag.192
4.2 <b>PRESTAZIONI DEGLI ELEMENTI TECNICI</b> .....	pag.193
4.3 <b>COMPOSIZIONE DEGLI ELEMENTI TECNICI</b> .....	pag.200
4.3.1 CHIUSURE VERTICALI.....	pag.200
4.3.2 CHIUSURE ORIZZONTALI.....	pag.207
4.3.3 PARTIZIONI INTERNE VERTICALI.....	pag.214
4.3.4 PARTIZIONI INTERNE ORIZZONTALI.....	pag.217
4.3.5 INFISSI ESTERNI.....	pag.219
4.4 <b>VERIFICHE DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI</b> .....	pag.220



## CAPITOLO 5 ANALISI ENERGETICA

5.1 <b>GLI OBIETTIVI DI EFFICIENZA ENERGETICA</b> .....	pag.227
5.1.1 L'EVOLUZIONE NORMATIVA.....	pag.227
5.2 <b>RIFERIMENTI DI ECCELLENZA</b> .....	pag.229
5.2.1 FIRST LIVING MODEL HOME, CALIFORNIA, USA.....	pag.229
5.2.2 KINGSPAN LIGHTHOUSE, INGHILTERRA.....	pag.232
5.2.3 SOLTAG ENERGY HOUSING, DANIMARCA.....	pag.235
5.2.4 SIEEB, CINA.....	pag.238
5.2.5 PRINCIPI COMUNI.....	pag.241
5.3 <b>SIMULAZIONE DINAMICA E OTTIMIZZAZIONE</b> .....	pag.243
5.3.1 TRNSYS (TRANSIENT SYSTEM SIMULATION PROGRAM).....	pag.245
5.3.2 TRNBUILD.....	pag.249
5.3.3 MODELLI DI STUDIO.....	pag.260
5.3.4 PARAMETRI DEL PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE.....	pag.269
5.3.5 GENOPT (GENERIC OPTIMIZATION PROGRAM).....	pag.274
5.3.6 RISULTATI DELL'OTTIMIZZAZIONE.....	pag.282
5.3.7 COMFORT IGROTERMICO.....	pag.288
5.3.8 VENTILAZIONE NATURALE CONTROLLATA: VERIFICA.....	pag.292
5.4 <b>SCHEMATIC DESIGN</b> .....	pag.296
5.4.1 STRATEGIE PER L'INVOLUCRO.....	pag.296
5.4.2 LE SERRE BIOCLIMATICHE.....	pag.303

5.5 <b>SCELTE IMPIANTISTICHE</b> .....	pag.305
5.5.1 FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	pag.308
5.5.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER LA CLIMATIZZAZIONE.....	pag.309
5.5.3 TRATTAMENTO DELL'ARIA.....	pag.311
5.5.4 RECUPERO DELLE ACQUE METEORICHE.....	pag.311
5.5.5 ENERGIE RINNOVABILI.....	pag.312
5.6 <b>CERTIFICAZIONE ENERGETICA</b> .....	pag.316
5.7 <b>ACTIVE HOUSE</b> .....	pag.317



## CAPITOLO 6 PROGETTO STRUTTURALE

6.1 <b>ANALISI PRELIMINARI</b> .....	pag.323
6.2 <b>PROGETTO DELLA STRUTTURA</b> .....	pag.324
6.3 <b>VERIFICHE AGLI STATI LIMITE</b> .....	pag.325
6.3.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	pag.325
6.3.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI.....	pag.326
6.3.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	pag.327
6.4 <b>AZIONI SULLA STRUTTURA</b> .....	pag.328
6.4.1 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI ( $G_2$ ).....	pag.328
6.4.2 CARICHI VARIABILI.....	pag.334
6.4.3 AZIONE SISMICA.....	pag.335
6.4.4 AZIONE DEL VENTO.....	pag.347
6.4.5 AZIONI DELLA NEVE.....	pag.353
6.5 <b>DIMENSIONAMENTI E VERIFICHE</b> .....	pag.355
6.5.1 SOLAI INTERPIANO.....	pag.355
6.5.2 SOLAI DI COPERTURA.....	pag.357
6.5.3 TRAVI IN ACCIAIO.....	pag.358
6.5.4 PILASTRI IN ACCIAIO.....	pag.366
6.5.5 UNIONI BULLONATE.....	pag.369
6.5.6 TRAVE RETICOLARE.....	pag.374
6.5.7 ELEMENTO A SBALZO DELLE SCHERMATURE.....	pag.376
6.5.8 AZIONI SUI CONTROVENTI.....	pag.378



## CAPITOLO 7 ANALISI ERGOTECNICA

7.1 <b>L'AREA DI CANTIERE</b> .....	pag.385
7.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE - VIABILITÀ.....	pag.386
7.1.2 LE PRINCIPALI FASI OPERATIVE.....	pag.387
7.1.3 LAYOUT DI CANTIERE.....	pag.390

RINGRAZIAMENTI.....	pag.394
---------------------	---------

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

INDICE DELLE IMMAGINI

INDICE DELLE TABELLE

## ABSTRACT

Il settore edilizio assorbe, a livello europeo, circa il 40% dell'energia finale e produce il 25% delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Per contro risulta il comparto con il maggior potenziale nel perseguimento di obiettivi di sostenibilità ambientale a lungo termine.

Per questo motivo il lavoro di tesi sviluppa e analizza un progetto di nuova realizzazione in area urbana come esempio di edificio NZEB (Net zero energy building), come definito dalla Direttiva Europea 2010/31/EU, e nello specifico caratterizzato da un fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo e coperto in misura significativa da energia prodotta in sito da fonti rinnovabili, come riportato nella Legge 90 del 3 agosto 2013.

Nel dettaglio il progetto descritto nel lavoro di tesi consiste nella realizzazione di un edificio residenziale finalizzato al ripristino della cortina edilizia di Via Palermo, nel quartiere di Brera a Milano. Trattandosi di un intervento posto all'interno di un vuoto urbano esistente nel centro storico della città, si è scelto di mantenere la continuità e la compattezza che caratterizzano il fronte dell'isolato.

In considerazione dei requisiti di salubrità che contraddistinguono gli ambienti residenziali, si è sfruttato l'obbligo, posto dal Piano di Governo del Territorio di Milano, di mantenere una corte interna al lotto di progetto, allo scopo di garantire elevati livelli di luminosità interna. Quest'ultima ottenuta attraverso elaborazioni morfologiche del volume di progetto, definite a seguito di opportune analisi del soleggiamento.

Questo lavoro di tesi si prefigge di stabilire ed ottimizzare i parametri edilizi che maggiormente influenzano il comportamento dell'edificio in ambito energetico e di comfort igrotermico.

A questo proposito, presi in considerazione i dati forniti dagli esempi di studio reperibili nella letteratura di settore, sono state scelte come caratteristiche

oggetto del processo di ottimizzazione: la trasmittanza termica degli elementi dell'involucro edilizio, la trasmittanza solare delle superfici trasparenti e il fattore di ombreggiamento di quest'ultime.

Tali parametri sono stati implementati all'interno della simulazione dinamica del modello di progetto, eseguita combinando l'utilizzo dei software Trnsys e Genopt, al fine di ottenere elevate condizioni di comfort interno minimizzando i corrispettivi consumi energetici.

L'analisi energetica è stata effettuata considerando inoltre il trade-off tra costi e prestazioni, cercando un equilibrio tra la riduzione del fabbisogno energetico e il rispettivo aumento del valore di costruzione.

In conclusione si riconferma il ruolo della simulazione dinamica e dell'ottimizzazione energetica nella definizione delle caratteristiche morfologiche e prestazionali di un progetto architettonico, al fine dell'ottenimento di edifici conformi ai più elevanti standard di sostenibilità energetica – economica – funzionale.

The construction sector absorbs, at European level, about 40% of the final energy and produces 25% of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. On the other side this is the sector with the greatest potential in the pursuit of objectives of environmental sustainability in the long term.

For this reason, the thesis develops and analyzes a project of new construction in an urban area as an example of Net Zero Energy Building, as stated by the European Directive 2010/31/EU, and characterized by very low or almost zero energy needs, covered almost completely by energy produced on site from renewable sources, as written in the Italian Law 90 of August 3rd, 2013.

Particularly, the project described in the thesis involves the construction of a residential building aimed at filling a gap between different buildings of Via Palermo, in the district of Brera in Milan. Since this is an operation within an existing urban void in the historic center of the city, it was decided to maintain the continuity and unity that characterize the front of the block.

Given the requirements of healthiness that distinguish residential buildings, the obligation stated by the Plan of Government of the Territory of Milan was exploited to maintain a courtyard inside the lot of the project, in order to ensure high levels of interior brightness. The latter obtained through the processing of the project volume, defined as a result of appropriate analyzes of the access to sunlight.

This thesis aims to establish and optimize building parameters that most influence the behavior of the building related to the energy consumption and hygrothermal comfort.

In this regard, considering the data provided by the examples available in the literature of the field of study, the following characteristics of the optimization process have been chosen:

the thermal transmittance of the elements of the building envelope, the solar transmittance of transparent surfaces and the shading factor of the latter.

These parameters have been implemented within the dynamic simulation of the design model, performed by combining the use of softwares TRNSYS and Genopt, in order to obtain high internal comfort conditions minimizing the energy consumption.

Energy analysis was made considering also the trade-off between costs and performance, seeking a balance between the reduction of energy demand and the corresponding increase in the value of construction.

In conclusion, the importance of dynamic simulation and energy optimization is confirmed in the definition of the shape and the performance of a building project, thus obtaining the highest standards of energetic - economical - functional sustainability.



## PREMESSA

Durante la partecipazione al corso di Progettazione e Innovazione Tecnologica, tenuto dal Prof.re Marco Imperadori e coordinato dal Prof.re Pietro Tagliabue, è stato sviluppato il progetto di un edificio nel cuore di Milano, incentrando l'attenzione sugli aspetti del risparmio energetico, del comfort interno e dell'impatto ambientale.

Un aspetto fondamentale dell'efficienza energetica e del comfort interno consiste nel garantire livelli ottimali degli apporti gratuiti dati dall'illuminazione naturale, sia in termini di radiazione luminosa che di radiazione termica.

Questo approccio alla progettazione ha condotto alla definizione di un edificio caratterizzato da un involucro in grado di adattarsi alle variazioni climatiche esterne: schermando la radiazione solare estiva in eccesso e massimizzando gli apporti gratuiti invernali.

Questo percorso progettuale è culminato nel concorso LucEnergia 2013, promosso dall'azienda VELUX Italia, che ha premiato al terzo posto il progetto da noi sviluppato, nel quale gli aspetti formali ed energetici sono legati imprescindibilmente tra loro, pur rispettando i caratteri architettonici tradizionali. Di seguito si riportano le tavole di concorso.

Questa esperienza è servita come punto di partenza per lo sviluppo del tema di tesi: la progettazione di residenze ad alta efficienza energetica in ambito urbano.



*Fig.001 Cerimonia di Premiazione del Concorso LucEnergia del 2 Dicembre 2013, tenuta presso il Politecnico di Milano - Polo Territoriale di Lecco.  
In presenza dell'Amministratore Delegato di VELUX Italia - Massimo Buccilli e del titolare del corso di Progettazione e Innovazione Tecnologica - Professore Marco Imperadori*



3RO

Studenti: Mauro Piazon, Annalisa Ravasi

CORSO DI PROGETTAZIONE E INNOVAZIONE TECNOLOGICA

POLITECNICO DI MILANO

LUCenergia by VELUX




Fig.002 Prima tavola del Concorso LucEnergia 2013



Fig.003 Seconda tavola del Concorso LucEnergy 2013



# CAPITOLO 1 - ANALISI PRELIMINARI

- 1.1 **EVOLUZIONE URBANA DI MILANO**
    - 1.1.1 CATASTO TERESIANO - 1720/23
    - 1.1.2 PIANO DEL 1801 - PINCHETTI
    - 1.1.3 PIANO DEL 1807 - PIANO REGOLATORE NEOCLASSICO
    - 1.1.4 CATASTO LOMBARDO VENETO - 1855
    - 1.1.5 INTERVENTI TRA IL 1860 E IL 1885
    - 1.1.6 PIANO DEL 1889 - PIANO BERUTO
    - 1.1.7 CATASTO CESSATO - 1898
    - 1.1.8 PIANO DEL 1912 - PIANO PAVIA-MASERA
    - 1.1.9 PIANO DEL 1934 - PIANO ALBERTINI
    - 1.1.10 CARTOGRAFIA ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
    - 1.1.11 EVOLUZIONE STORICA DELL'AREA DI PROGETTO
    - 1.1.12 SCHEMA CRONOLOGICO DELLA PIANIFICAZIONE URBANA
  
  - 1.2 **EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA RESIDENZIALE**
    - 1.2.1 L'EDILIZIA DEL CENTRO STORICO MILANESE FINO ALL'800
    - 1.2.2 LE TIPOLOGIE EDILIZIE DEL PIANO BERUTO
    - 1.2.3 L'EDILIZIA RESIDENZIALE AGLI INIZI DEL XX SECOLO
    - 1.2.4 L'EDILIZIA RESIDENZIALE TRA LE DUE GUERRE
    - 1.2.5 L'EDILIZIA RESIDENZIALE NEL SECONDO DOPO GUERRA
    - 1.2.6 L'EDILIZIA RESIDENZIALE DAGLI ANNI '60 AD OGGI
    - 1.2.7 IL TESSUTO URBANO MILANESE
  
  - 1.3 **ANALISI URBANISTICA**
    - 1.3.1 INQUADRAMENTO DEL LOTTO DI PROGETTO
    - 1.3.2 RILIEVO MATERICO E CROMATICO
    - 1.3.3 ACCESSIBILITÀ E TRASPORTI
    - 1.3.4 SERVIZI
    - 1.3.5 DEMOGRAFIA
  
  - 1.4 **ANALISI CLIMATICA**
    - 1.4.1 POSIZIONE GEOGRAFICA
    - 1.4.2 TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA
    - 1.4.3 RADIAZIONE SOLARE
    - 1.4.4 IL VENTO
    - 1.4.5 PRECIPITAZIONI
    - 1.4.6 UMIDITÀ RELATIVA
    - 1.4.7 COMFORT IGROTERMICO
- 

## PREMESSA

Il primo capitolo riguarda le analisi preliminari, le quali comprendono tutti gli studi necessari alla base dello sviluppo del progetto architettonico.

Nello specifico, la prima analisi che abbiamo effettuato, riguarda lo sviluppo storico attraverso le cartografie della città di Milano, in particolare dell'area di progetto: Brera.

L'analisi cartografica, è stata svolta in parallelo con la ricerca dell'evoluzione della tipologia residenziale, allo scopo di individuare delle linee guida in fase di progettazione, in quanto la destinazione d'uso dell'edificio è residenziale.

Oltre ad avere al piano terreno l'integrazione di due destinazioni pubbliche a servizio della cittadinanza, le quali instaurano una particolare e positiva sinergia che dà vitalità a tutto l'intorno: una caffetteria e una bottega dell'Arte.

Un'ulteriore indagine è stata quella urbanistica, costituita dal rilievo dell'area di progetto e dall'analisi in dettaglio dei materiali e dei cromatismi che caratterizzano la cortina edilizia di via Palermo, con l'obiettivo di individuare i colori presenti nella via e poter definire nella successiva fase delle corrette scelte architettoniche.

Inoltre è stata analizzata la viabilità a macroscala delle connessioni urbane con il territorio e, in seguito, nei pressi del lotto di progetto di via Palermo, valutando la qualità dei trasporti pubblici e dei servizi di vicinato.

In conclusione, una valutazione climatica evidenzia le sollecitazioni a cui è sottoposto l'edificio oggetto di progettazione, da cui derivano le scelte effettuate nei capitoli successivi.



## 1.1 EVOLUZIONE URBANA DI MILANO

Il primo documento cartografico disponibile per la città di Milano è una ricostruzione eseguita nel '900, che riassume l'espansione della città avvenuta tra il III sec. a.C. e il XIII sec. d.C.



Fig.004 Ricostruzione dell'evoluzione di Milano tra il III sec. a.C. e il XIII sec. d.C.

Dalla figura sopra riportata, si nota l'impianto romano originario con schema ortogonale, a cardine e decumani; che viene modificato secondo un'impostazione radiocentrica, tipica della mentalità difensiva del periodo medioevale. L'impianto originario è circondato dalle cinte dei navigli e delle mura, valicabili solo in punti prestabiliti in corrispondenza delle principali vie di collegamento con i territori circostanti.

Successivamente si riporta una ricostruzione ottocentesca della Milano all'epoca di Federico I (1158), dove è possibile osservare la permanenza della commistione tra l'impianto ortogonale romano e il successivo impianto radiale; inoltre la cinta muraria include terreni coltivati che sono oggetto delle successive edificazioni.



Fig.005 Ricostruzione di Milano all'epoca di Federico I (1158)

La prima mappa eseguita mediante un rilievo rigoroso è quella di Antonio Lafrery del 1573: la città risulta racchiusa dalle mura spagnole e compare il castello posto centralmente nella parte superiore della rappresentazione. In questa raffigurazione si nota in alto, alla destra del castello, una zona coltivata, corrispondente all'area denominata "braidà" nella ricostruzione del '900.

Tale termine corrisponde alla voce di origine germanica usata nella toponomastica milanese per indicare uno spiazzo erboso, dove attualmente sorge il *Il Palazzo di Brera*, sede di importanti istituti culturali milanesi:

- l'Accademia di Belle Arti;
- la Pinacoteca;
- la Biblioteca Nazionale;
- l'Osservatorio Astronomico;
- l'Orto Botanico.

Inoltre si rileva la comparsa del Lazzaretto all'esterno della cinta muraria e che, con le sue dimensioni, denota l'incidenza delle malattie epidemiche che frequentemente imperversavano nella città.



Fig.006 Milano nel 1573



Fig.007 Milano nel 1599

A partire dal 1599 risulta chiaramente delineata l'impostazione dell'asse viario di Porta Comasina (ad oggi Corso Garibaldi e Moscova).

In questa mappa e in quelle successive fino al '700 si nota come la città si sia evoluta lungo gli assi viari radiali e come il castello abbia assunto la sua conformazione di fortezza militare.

Dalla prima metà del Settecento iniziano le rilevazioni catastali e la stesura dei piani urbanistici che hanno portato alla configurazione attuale di Milano.





Fig.008 Milano agli inizi del '700



Fig.009 Mappa di Marcantonio dal Re del 1735

### 1.1.1 CATASTO TERESIANO - 1720/23

Il Catasto Teresiano (1720-1723) consiste nella rilevazione dettagliata e particellare delle proprietà milanesi; esso è stato eseguito rispettando le Giurisdizioni in cui Milano era suddivisa.

In particolare si riporta la copia della mappa della Giurisdizione di Porta Comasina, nella quale è visibile la conformazione dell'asse viario principale che oggi costituisce Corso Garibaldi e che comprende nel suo impianto completo la parrocchia di San Simpliciano, presente tutt'oggi.

In questa fase storica, l'area di via Palermo risulta ancora come territorio indistintamente adibito a coltura.



Fig.010 Catasto Teresiano,  
Copia del 1751



### 1.1.2 PIANO DEL 1801 - PINCHETTI

Nel 1801, durante la dominazione Napoleonica, è steso un Piano Urbanistico a cura di Pinchetti, nel quale si prevede l'abbattimento delle mura del Castello Sforzesco con la sovrapposizione di un impianto circolare che comporta la formazione di una strada di collegamento tra Milano e Parigi.

Tale asse viario si è concretizzato nella formazione di Corso Sempione, terminante in una grande Piazza d'Armi dietro il castello, del quale sono state abbattute le mura.



Fig.011 Piano del Pinchetti del 1801

### 1.1.3 PIANO DEL 1807 - PIANO REGOLATORE NEOCLASSICO

Nel 1807, viene steso dal Pinchetti un nuovo Piano, nel quale prevale un'impostazione più regolare e rettilinea delle vie milanesi.

Di fronte al castello sono disegnati giardini e vialetti alberati, dai quali si diparte un'asse di collegamento diretto con l'ospedale Maggiore; mentre l'area del Duomo e del dismesso Lazzaretto non sono presi in considerazione.



Fig.012 Piano del Pinchetti del 1807

#### 1.1.4 CATASTO LOMBARDO VENETO - 1855

Nella prima metà dell'Ottocento è permaso un disinteresse da parte degli austriaci nello sviluppo urbanistico di Milano e venivano svolte solo opere in funzione delle esigenze del momento.

Come rilevato nel Catasto Lombardo Veneto del 1855, sono stati sviluppati assi viari prevalentemente circolari di connessione tra le direttrici radiali preesistenti, pur conservando il profilo della cinta muraria cittadina. E' confermata la conformazione dell'area del castello come dal Piano del 1807, inoltre compare via Palermo come asse trasversale di Corso Garibaldi.



Fig.013 Catasto Lombardo Veneto, 1855

#### 1.1.5 INTERVENTI TRA IL 1860 E IL 1885

In seguito all'espansione della popolazione, avvenuta a cavallo dell'Ottocento, è stata eseguita una serie di interventi in risposta alle esigenze dell'epoca.

Si denotano i progetti della Galleria Vittorio Emanuele e della Piazza del Duomo di Giuseppe Mengoni, la costruzione della Ferrovia Nord, ad oggi Stazione Garibaldi, e il Cimitero Monumentale.

In particolare gli interventi sulle nuove arterie e della galleria pedonale sono alla base dello sviluppo del quartiere di Brera come luogo di incontro, ricco di botteghe e servizi commerciali.



Fig.014 Interventi tra il 1860 e il 1885

### 1.1.6 PIANO DEL 1889 - PIANO BERUTO

Nel 1889 Cesare Beruto si propone di risolvere i problemi urbanistici di Milano con la stesura di un Piano Regolatore: la ferrovia che circondava la città era di ostacolo all'espansione residenziale; lo spazio della Piazza d'Armi era ormai privo di funzione e risultava uno spazio indistinto compreso tra l'arena, il castello, lo scalo merci e Corso Sempione.

Il Piano prevede uno sviluppo radiale ad anelli, con la dislocazione della Piazza d'Armi in posizione simmetrica del Cimitero Monumentale rispetto al Corso Sempione e la realizzazione di un giardino all'inglese nell'area vuota retrostante il castello.



Fig.015 Piano Beruto del 1889

### 1.1.7 CATASTO CESSATO - 1898

Al termine dell'Ottocento, la situazione di Milano è quella rilevata nel Nuovo Catasto Terreni (1894-1902).

Si osserva la forte densità raggiunta dal costruito e il disegno del Parco Sempione previsto dal Piano Beruto (1889); sono definiti inoltre gli assi principali dello schema viario radiale che presentano una larghezza maggiore rispetto alle strade di servizio dalle dimensioni più contenute.

Per quanto riguarda il quartiere di Brera si nota come si sono effettivamente concretizzate le prescrizioni del Piano Beruto, definendo l'assetto viario presente tutt'oggi.



Fig.016 Nuovo Catasto Terreni, del 1894-1902



### 1.1.8 PIANO DEL 1912 - PIANO PAVIA-MASERA

Agli inizi del Novecento, l'incremento della popolazione milanese risultava largamente superiore rispetto alle previsioni alla base del Piano Beruto. Pertanto è stato sviluppato un nuovo piano di espansione dagli Ingegneri Angelo Pavia e Giovanni Masera nel 1912, che prevedeva un addensamento edilizio nella fascia vuota tra la circonvallazione esterna e la nuova cintura ferroviaria. La realizzazione del nuovo assetto viario è avvenuta a discapito di molti giardini privati. In sostanza sono stati mantenuti i criteri urbanistici introdotti dal Beruto.



Fig.017 Piano Pavia-Masera, del 1912

### 1.1.9 PIANO DEL 1934 - PIANO ALBERTINI

Nel 1934 viene redatto dall'Ingegnere Cesare Albertini il Piano Regolatore di Milano, che in tal data comprende gli undici comuni immediatamente contigui, annessi nel 1923. L'intento del Piano è di rendere edificabile la quasi totalità del territorio, ignorando qualsiasi forma di zonizzazione funzionale e proponendo per il nucleo centrale una serie di sventramenti e sostituzioni edilizie, quest'ultime effettuate poi solo prevalentemente nei casi di edifici depredati. Tali demolizioni hanno lasciato spazio a strutture direzionali centralizzate.

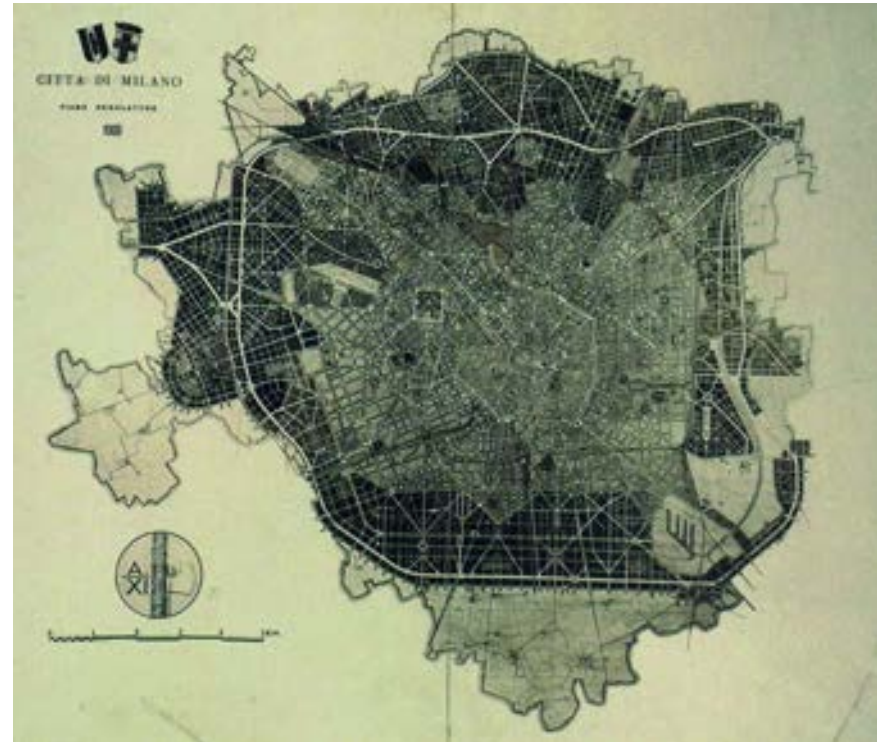


Fig.018 Piano Albertini, del 1934

### 1.1.10 CARTOGRAFIA ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE

Sono disponibili le cartografie dell'Istituto Geografico Militare che spaziano tra il 1888 e il 1950; è possibile osservare le fasi evolutive che hanno caratterizzato Milano.

A partire dalla metà del XIX secolo l'organizzazione urbana del capoluogo lombardo alla vigilia delle grandi trasformazioni post-unitarie è la seguente:

- Un nucleo centrale, completamente edificato, circondato dalla cerchia dei navigli, nel quale è ancora possibile riconoscere l'impianto di origine romana, se pur largamente trasformato e riadattato in epoca medievale;
- Una serie di borghi a sviluppo lineare, organizzati lungo i percorsi stradali dal centro alle porte della città, separati gli uni dagli altri da vaste aree a ortaglie e giardini, costellate dai numerosi insediamenti conventuali;
- Una cerchia muraria di epoca cinquecentesca, costituita da un terrapieno alberato, che, perduta la sua funzione difensiva, svolgeva il ruolo di cinta daziaria e di pubblico passaggio;
- Il grande edificio del Castello Sforzesco, isolato dalla città, ridotto a caserma, con il retrostante quadrilatero della piazza d'Armi spazio delle esercitazioni militari ma al contempo, con la vicina Arena, luogo di attività sportiva e di svago;
- Il complesso quattrocentesco del Lazzaretto, in disuso, occupato da piccole attività artigianali e commerciali nonché residenza precaria della prima immigrazione;
- I borghi esterni alle mura: a nord-ovest il borgo degli Ortolani, a sud il borgo S.Gottardo, biforcantesi lungo i due navigli meridionali; altri borghi minori si sviluppano irregolarmente in corrispondenza delle porte della città;
- Un contado punteggiato da piccoli aggregati rurali e numerose cascine isolate, solcato da una fitta rete di canali minori (le rogge) per l'irrigazione dei campi.

In seguito al Piano Albertini del 1934, si nota l'intensa edificazione soprattutto ad ovest della città, conseguenza della marcata domanda di alloggi dovuta agli aumenti demografici registrati a partire da fine Ottocento.



Fig.019 I.G.M. 1888



Fig.020 I.G.M. 1900





Fig.021 I.G.M. 1907



Fig.022 I.G.M. 1910



Fig.023 I.G.M. 1914



Fig.024 I.G.M. 1924



Fig.025 I.G.M. 1936



Fig.026 I.G.M. 1950

### 1.1.11 EVOLUZIONE STORICA DELL'AREA DI PROGETTO

Come si evince a partire dal Catasto Teresiano, la fascia compresa un tempo tra il fossato di età medievale e i bastioni spagnoli – attraversata in successione dalla contrada del Passetto, dal borgo di Porta Comasina (corso Garibaldi) e dal borghetto di Porta Comasina (via Varese) – fu a lungo occupata da ampie proprietà religiose, soppresse in epoca napoleonica e quindi parzialmente restituite al culto.

Oggi si individuano ancora i complessi di S. Simpliciano e di S. Maria Incoronata, mentre due altri conventi sono stati demoliti o in parte inglobati nei successivi edifici. Tutte le abitazioni e le altre costruzioni civili, ancora fino alla metà del secolo XIX, erano allineate lungo la strada principale e le sue diramazioni. I fabbricati avevano in genere il piano terra destinato ad attività artigianali e commerciali, mentre i piani superiori avevano funzione residenziale.

Fin dalle prime espansioni si sono ottenuti quartieri dalle ridotte dimensioni, questo è dovuto al condizionamento del margine urbano costituito dalla cinta muraria; la parte occidentale del quartiere di Porta Comasina è demolito per lasciare spazio alla costruzione dell'Arena e del Castello Sforzesco già a partire dal XIII secolo.

Nel Catasto Teresiano e nel Lombardo Veneto si possono osservare ampie proprietà religiose che, tra palazzi nobiliari, cortili e orti, caratterizzano il quartiere. A partire dalla seconda metà dell'Ottocento, tali proprietà vengono significativamente ridotte e trasformate per lasciare posto all'espansione residenziale dovuta ai successivi aumenti demografici in conseguenza dell'industrializzazione della città.

La piena edificazione delle superfici racchiuse nel quartiere, porta all'apertura dopo il 1850 di alcuni nuovi impianti viari: le vie Solferino, Palermo, Statuto, Marsala e Milazzo. Il toponimo di via Palermo è stato assegnato nel 1865 alla "nuova via da aprirsi tra la Piazza in fregio alle Vie Solferino e Moscovia, e il Corso Garibaldi", in memoria dell'allora recente impresa dei Mille.



Fig.027 Estratto del Catasto Teresiano, 1721


 Questo colore nella cartografia storica di seguito riportata, rappresenta il lotto di progetto di via Palermo,19





Fig.028 Estratto del Lombardo Veneto, 1885



Fig.029 Estratto del Catasto Cessato, 1898





Fig.030 Estratto del Piano Pavia-Masera, 1912



Fig.031 Estratto del Piano Albertini, 1934





Fig.032 Estratto della Carta Tecnica Comunale, 1946



Fig.033 Estratto della Carta Tecnica Comunale, 1966



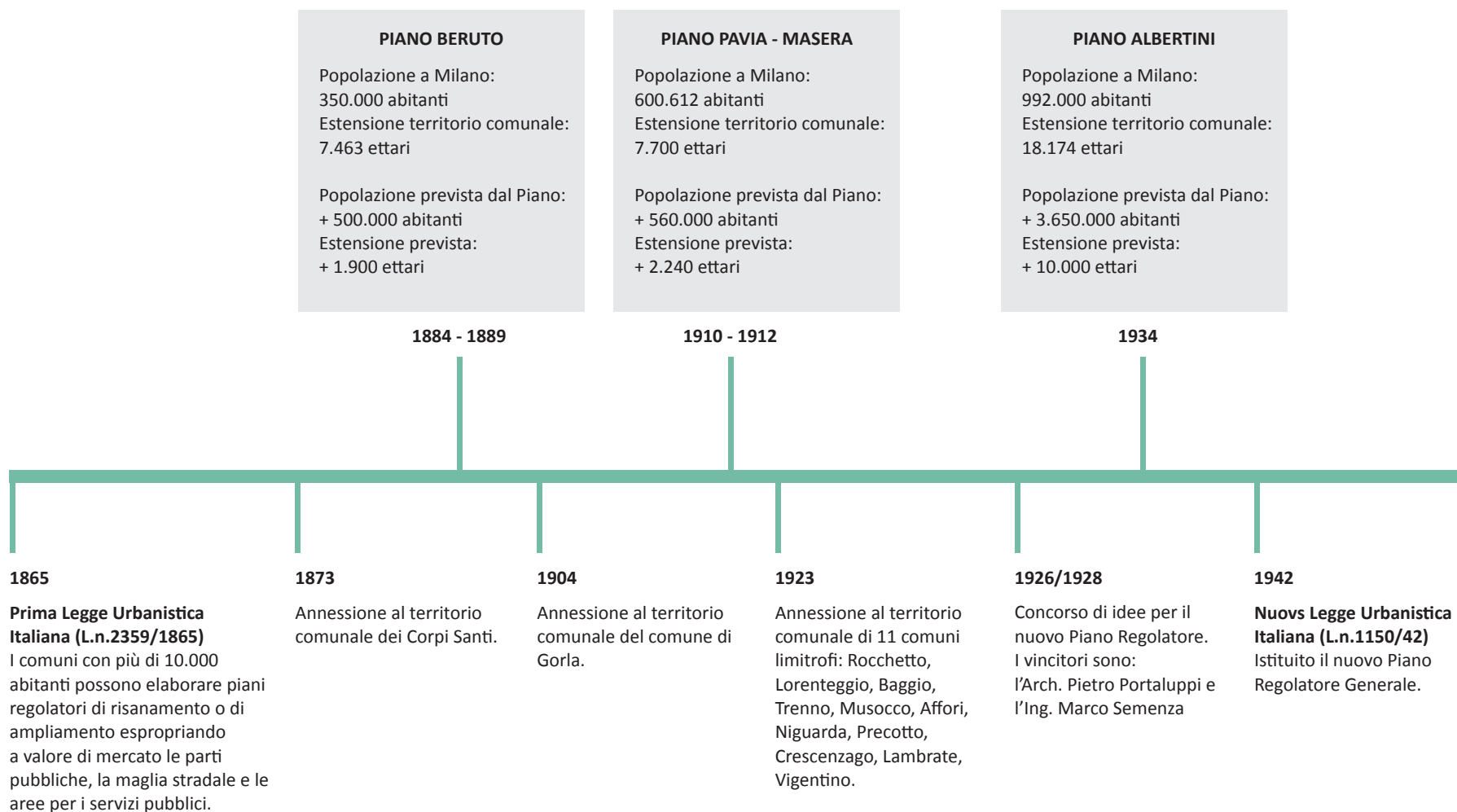


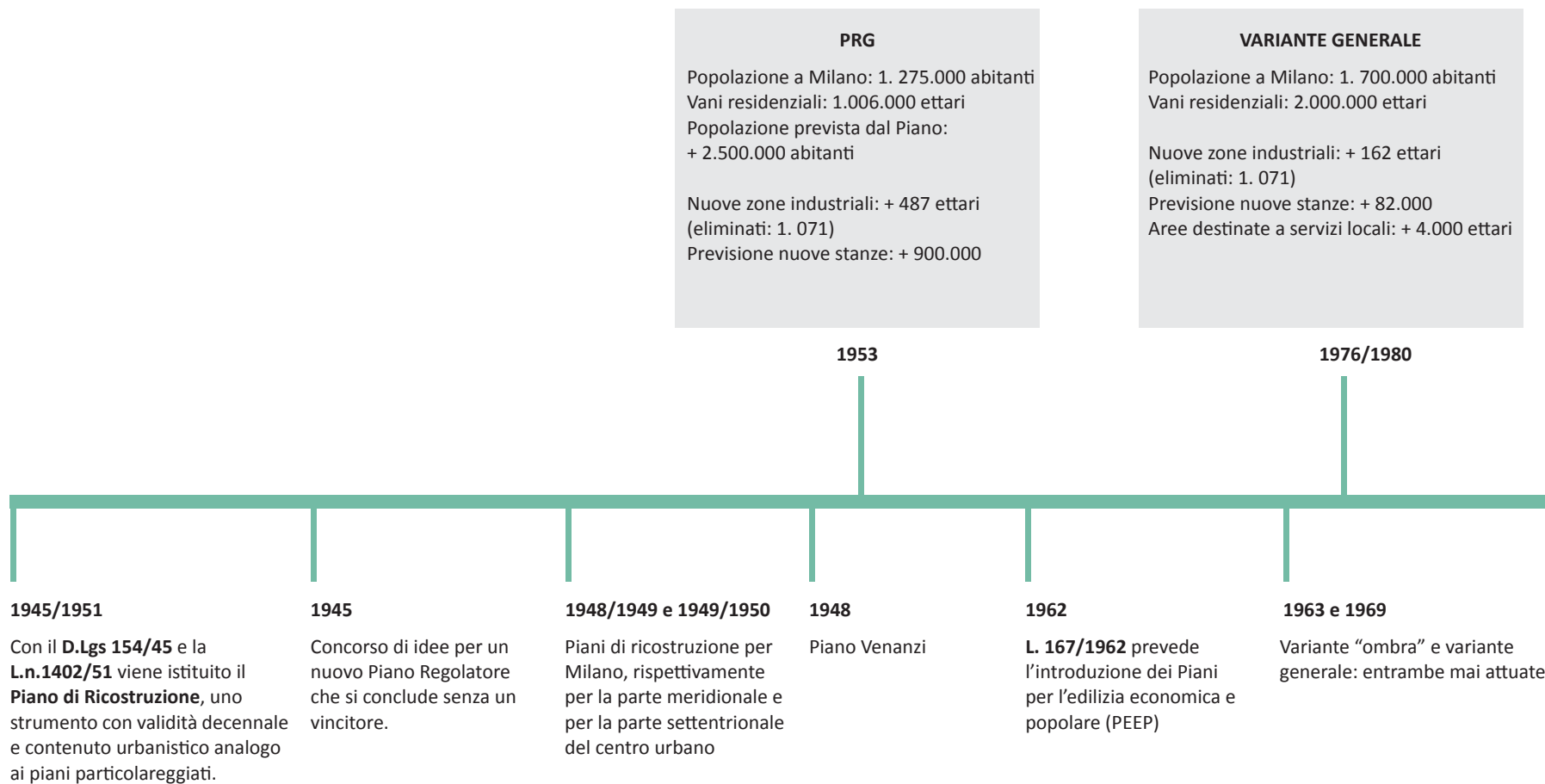
Fig.034 Estratto della Carta Tecnica Regionale, 1985

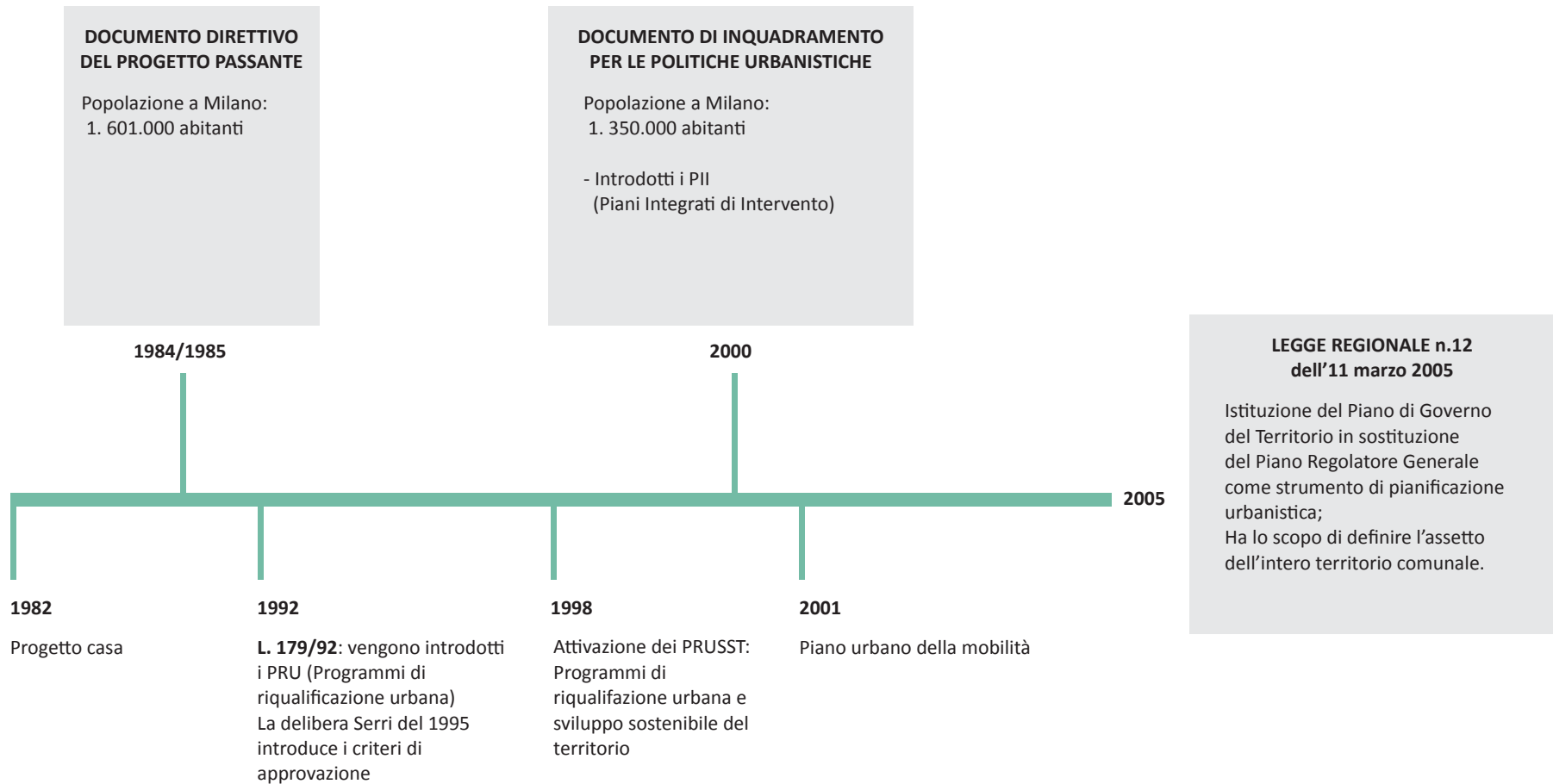


Fig.035 Estratto della Carta Tecnica Regionale, 1994

### 1.1.12 SCHEMA CRONOLOGICO DELLA PIANIFICAZIONE URBANA







## 1.2 EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA RESIDENZIALE

### 1.2.1 L'EDILIZIA DEL CENTRO STORICO MILANESE FINO ALL'800

Tutte le abitazioni e le altre costruzioni civili, ancora fino alla metà del secolo XIX, erano allineate lungo le strade principali e le loro diramazioni.

Le tipologie edilizie, di cui sussistono tuttora consistenti e poco alterati nuclei, derivano dalla particolare funzione che aveva il borgo: nelle case, con un piccolissimo fronte su strada e che si spingevano verso l'interno dell'isolato, si svolgevano a *piano terra le attività commerciali e artigianali*, mentre il *piano superiore era adibito a residenza*.

Agli inizi dell'Ottocento le zone periferiche della città cominciano ad essere anche sede di manifatture e case popolari, tale processo edilizio è accelerato dopo il 1860 in seguito alla costruzione delle linee ferroviarie che legano Milano alla rete nazionale in forte sviluppo, e hanno segnalato l'avvio di un processo di grande rivolgimento che, nel giro di pochi decenni, ha mutato radicalmente la forma, la dimensione e la struttura della città.



Fig.036 Veduta milanese, 1845

Carlo Cattaneo, nel 1839, documenta la presenza di una popolazione di 145.000 abitanti all'interno delle mura, a cui aggiunge una stima di circa 11.000 non ufficialmente residenti ma egualmente presenti.

Nel 1861, nella medesima area, risultano censiti 196.000 abitanti, con un incremento di circa 40.000 persone; tuttavia, mentre nel 1844 si contavano 5.085 case, queste nel 1871 scendevano a 4.647.

A fronte di un ingente aumento della popolazione non corrispondeva un altrettanto sensibile incremento della superficie edificata; il maggiore sfruttamento delle aree interne ai grandi isolati è stato realizzato con l'apertura, proprio dopo il 1860, di nuove strade.

Questo ha portato addirittura ad una diminuzione del numero di fabbricati, segnale inequivocabile degli ampi processi di sostituzione delle vecchie costruzioni a bassa densità con nuovi tipi edilizi intensivi: la nuova richiesta di abitazioni operaie modifica le originali tipologie, con l'aggiunta di corpi nei cortili e di ballatoi sui fronti interni e sopralzi; nuovi edifici sostituiscono in parte il vecchio tessuto mercantile attraverso demolizioni e sostituzioni.

L'insieme di queste opere è risultato in un peggioramento complessivo delle condizioni abitative per la popolazione milanese.

Figura di rilievo della Milano austriaca è stato *Giuseppe Piermarini*, formatosi prima a Roma come allievo di Luigi Vanvitelli e in seguito nella città lombarda dove è stato nominato nel 1779 Imperial Regio Architetto.



Fig.037 Ritratto Piermarini





Fig.038  
Palazzo Belgioioso, 1787

Giuseppe Piermarini si è occupato, in città, di Palazzo Belgioioso, del Teatro alla Scala e della parte terminale della di Palazzo Ducale (ad oggi Palazzo Reale), distrutta durante un incendio. Lo stile architettonico corrispondeva ai principi di geometria e proporzione del Neoclassicismo europeo.



Fig.039  
Teatro alla Scala, 1790



Fig.040  
Arco della Pace,  
in piazza Sempione

Si ricorda come nel 1807 sia stata istituita la Commissione di Pubblico Ornato, preposta al controllo dell'edilizia pubblica e privata e alla definizione di parametri di qualità a cui avrebbe dovuto attenersi ogni intervento visibile da una strada, da una piazza o da una qualsiasi area pubblica. I cinque membri che componevano la Commissione erano tutti professori di Brera o esperti di architettura, tra cui compaiono le figure del Zanoja e del Cagnola, progettisti degli archi di trionfo costruiti in quel periodo.



## 1.2.2 LE TIPOLOGIE EDILIZIE DEL PIANO BERUTO

Nell'Ottocento, a seguito della progressiva industrializzazione della città di Milano e del conseguente aumento dell'influenza della classe media borghese, si diffonde la tipologia edilizia propria di questo ceto sociale emergente.

La *casa da pigione borghese ottocentesca*, derivata da processi di successiva semplificazione del palazzo nobiliare, si organizza intorno a una corte, completa o incompleta a seconda della dimensione dei lotti; talora con un residuo di porticato in corrispondenza dell'androne d'ingresso dell'ampiezza di due o tre campate verso l'interno.

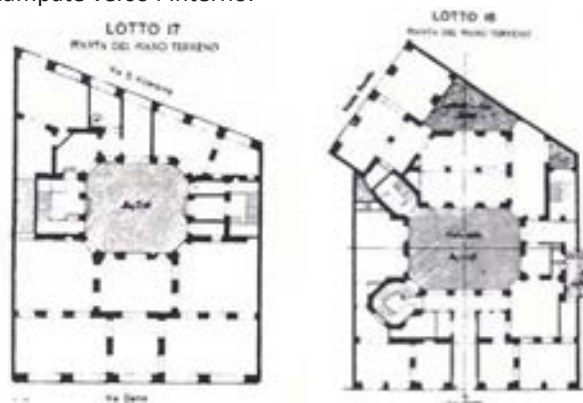


Fig.041 Tipi edilizi, Via Dante

L'edificio raggiunge i quattro o cinque piani fuori terra e il basamento è più alto degli altri livelli, poiché comprende anche un mezzanino, ed è solitamente trattato a bugnato; sono presenti botteghe artigiane o negozi a livello strada, nei fabbricati di categoria inferiore o, eccezionalmente, in presenza di arterie commerciali importanti.

La gerarchia dei successivi piani segue una logica di accessibilità secondo la quale 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 meno abbienti. Gli alloggi, disimpegnati direttamente dal vano scala, sono relativamente grandi, con un minimo di quattro o cinque locali e piccoli spazi di servizio interni.

Il piano nobile si caratterizza per una maggiore ampiezza degli ambienti interni 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 famiglie di operai.

Questa suddivisione trova una coerente manifestazione nella facciata esterna, dove la decorazione e l'architettura diventano sempre più semplificate salendo verso l'alto; da questa realtà deriva l'associazione della balconata ad un'idea di ricchezza, mentre gli abbaini corrispondono ad un'idea di povertà, fondata sul fatto che le soffitte erano, tra tutti i livelli, il piano più economico in assoluto.

Tale scansione formale della facciata, ha generato diverse problematiche quando, già negli ultimi anni dell'Ottocento, i palazzi non sono più abitati da ceti diversificati, ma destinati a classi sociali omogenee per l'intero edificio.



Fig.042 Casa in via Dante, 16

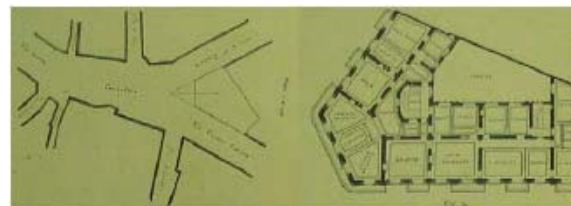


Fig.043  
Confronto tra forma del lotto  
e forma dell'edificio

La residenza può assumere distribuzioni in pianta differenti, ma presenta sempre una o più corti. Gli affacci interni delle corti sono disegnati con lo stesso criterio di quelli rivolti verso l'esterno, diversamente da come accade nel secolo successivo. Per quanto riguarda la struttura del quartiere, si osserva come 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 insedia.



Fig.044 Via Dante, piano di lottizzazione, 1886-1889



Fig.045 Casa in via Dante, 14



Fig.046 Casa in via Dante, 15

Un'ulteriore suddivisione gerarchica, rispetto a quella precedentemente illustrata, è istituita in base alla posizione dei lotti all'interno dell'isolato:

il valore economico è massimo per le aree che si collocano al confine con le arterie principali e decresce in corrispondenza delle strade secondarie, fino a raggiungere il minimo nella aree interne all'isolato, destinate di conseguenza alla realizzazione di capannoni.

In concomitanza della costruzione di edifici borghesi, sono state realizzate altresì dimore finalizzate a fornire domicilio alle classi meno abbienti.

La casa operaia, di derivazione rurale nel suo impianto originario, adotta a sua volta la struttura a corte: gli alloggi sono di ridotte dimensioni, costituiti da uno o due locali con servizi igienici in comune e vi si accede dal caratteristico ballatoio, sorta di balconata affacciata sulla corte, da cui il nome popolare di "casa di ringhiera".

I piani terreni verso strada sono quasi sempre destinati a botteghe, mentre nella corte si trovano, spesso precariamente insediate, piccole attività produttive, in stretta e caratteristica commistione con la residenza.

*Il partito decorativo esterno è estremamente semplificato, con qualche rara eccezione che si rifà alle soluzioni meno fastose della casa borghese.*

Frequentemente, soprattutto negli edifici più vecchi, un piano ammezzato, denunciato spesso da logge, separa il piano terreno commerciale dal primo piano residenziale, ed è destinato a servizio delle botteghe come deposito o residenza. (come si riscontra, ad esempio, nei quartieri di via Paolo Sarpi, via Pastrengo, di Porta Genova).

Molto più raro è un terzo tipo edilizio, il *villino isolato con giardino*, riservato ai ceti ad alto reddito per via dell'elevata incidenza del costo del terreno. Si tratta per di più di un tipo edilizio che è stato frequentemente sostituito con altri, a maggiore densità, tanto che restano solo le zone di via XX Settembre e di viale Monte Rosa, mentre sono del tutto scomparse le costruzioni di via Principe Umberto (oggi Turati).



Fig.047 Dimora storica, tipo villino isolato

### 1.2.3 L'EDILIZIA RESIDENZIALE AGLI INIZI DEL XX SECOLO

Sulla spinta dello sviluppo industriale, nonostante la crisi di fine Ottocento, l'attività edilizia è continuata a ritmi sostenuti: in trenta anni, tra il 1881 e il 1911 sono stati realizzati 220.000 locali.

Tuttavia l'incremento della popolazione è stato ben superiore, per un valore di circa 278.000 abitanti; pertanto, agli inizi del Novecento, la crisi degli alloggi, documentata dalle indagini della Società Umanitaria (1903), appare in tutta la sua evidenza:

- 110.000 persone abitanti in 28.000 stanze, di cui più di 10.000 famiglie, per un totale di 56.000 abitanti, residenti in alloggi composti da una sola stanza;
- solo il 10% degli alloggi operai disponeva di servizi igienici interni;
- circa il 15% delle abitazioni era giudicato improprio (cantine, soffitte, ecc.).

L'affitto per simili alloggi risultava incidere per il 15% di un salario già di pura sussistenza: come conseguenza del degrado delle condizioni abitative, tubercolosi, reumatismi, e rachitismo, erano largamente diffusi, come documento in numerosi studi coevi.

Nel 1901 larghe fasce della popolazione più povera occupavano ancora il centro storico, con un 42% della popolazione operaia che risiedeva entro le mura spagnole: situazione dovuta al fatto che 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.

Si trattava di interventi per case d'affitto, sul modello della casa da pigione ottocentesca, in cui nel tempo si era accentuata la tendenza ad aumentare sempre più la densità abitativa degli alloggi, specialmente in quelli agli ultimi piani.

Nonostante l'attività edilizia sia stata molto intensa, la domanda di abitazione a basso costo è rimasta ampiamente disattesa.

Una prima risposta al problema abitativo è stata data dalle possibilità offerte dalla Legge Luzzatti (1903), la prima disposizione nazionale destinata all'edilizia popolare che, in questo contesto sociale, ha dato l'avvio alla realizzazione di ghetti operai localizzati nelle zone più periferiche della città (Bovisa, Bicocca, Rogoredo, ecc.).



Nel 1905-1909 sono stati realizzati i primi quattro quartieri di iniziativa pubblica della città: il Mac Mahon, lo Spaventa, il Ripamonti e il Tibaldi (quest'ultimo oggi distrutto), per un totale di poco meno di 3.000 locali d'abitazione, un centinaio di botteghe e circa 200 vani per servizi collettivi quali asili, biblioteche, bagni e lavatoi.

Altri due quartieri sono stati realizzati nei medesimi anni dalla *Società Umanitaria*, il *Solari* e il *Lombardia*, progettista: Ing. Giovanni Broglio, particolarmente interessanti per le soluzioni adottate nell'impianto tipologico complessivo e per l'elevata dotazione di spazi e servizi collettivi.

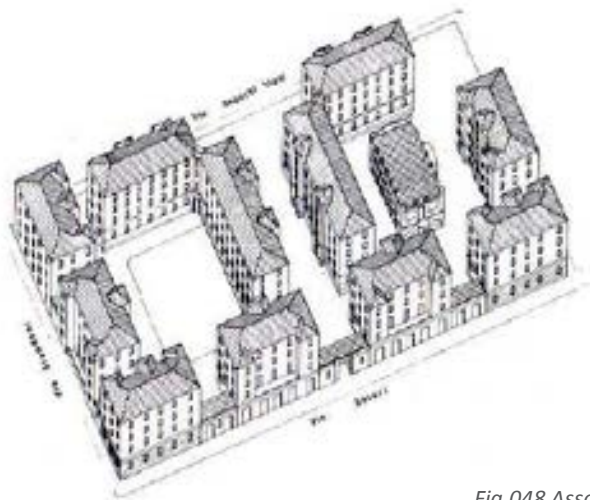


Fig.048 Assonometria quartiere Solari

Quartiere Solari: anno di costruzione 1904/1906 - Ing. Broglio

Area totale: circa 11.000 metri quadrati

Numero di alloggi: 249 per un totale di 456 locali divisi in:

- alloggi da un locale: 50
- alloggi da due locali: 101
- alloggi da tre locali: 68
- negozi: 28
- portinerie: 2



Fig.049 quartiere Solari, visto dalla via Giambellino (foto archivio lacpm)



Fig.050 quartiere Solari, visto dalla via Giambellino (foto archivio lacpm)

Il modello comunemente diffuso di alloggio popolare consisteva in edifici a corte chiusa inseriti all'interno di isolati a blocco, con ballatoi sovrapposti, come da tradizione edilizia locale, per un'altezza media di quattro piani.

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 erano composti da due o tre locali ed erano privi di servizi igienici privati. Gli alloggi erano caratterizzati da superfici molto ridotte, per questa ragione spesso erano previsti spazi di circa 20 m<sup>2</sup>, con funzione non definita, che all'occorrenza si trasformavano in cucina, camera da letto, ecc.

Nel 1909 è stata eseguita una prima verifica dell'attuazione del piano Beruto: solo un terzo della superficie edificabile risultava costruita, nonostante l'incremento di popolazione previsto nel 1889 fosse stato largamente superato. La densità media dei quartieri edificati nelle zone di espansione ammontava a 622 abitanti per ettaro, più del triplo di quanto proposto dal Beruto; contemporaneamente più di 500 case d'abitazione e di 100 fabbriche risultavano costruite al di fuori dei confini del piano.

Il piano redatto dagli ingegneri Angelo Pavia e Giovanni Masera nel 1912 ha confermato le scelte di sviluppo berutiane, proponendo un'ulteriore e analoga espansione per altri 2.240 ettari.

Un esempio si trova nel *Quartiere Genova*, intervento di edilizia economica popolare, progettato dall'Ingegnere Broglio.

Anno di costruzione: 1920/1924

Area totale: 13.500 metri quadrati

Area fabbricata: 7.542 metri quadrati

Numero alloggi: 302 per un totale di 1208 locali di cui 906 effettivi e 302 di servizio

Laboratori: 2

Magazzini: 42

Portinerie: 5 con 14 locali annessi

Bagni pubblici: 2

Locali vari ad uso collettivo: 32



Fig.051 Assonometria quartiere Genova



Fig.052 Soluzione d'angolo del quartiere Genova (foto archivio Iacpm)



#### 1.2.4 L'EDILIZIA RESIDENZIALE TRA LE DUE GUERRE

Il periodo tra le due guerre rappresenta uno dei momenti cruciali per lo sviluppo edilizio di Milano.

Esso coincide con l'importante opera di ricostruzione del primo dopoguerra e si identifica con la definizione di una nuova tipologia di casa milanese:

un'unità abitativa ad alta densità ovvero il sistema condominio, diffuso su tutto il territorio e i cui unici elementi caratterizzanti i diversi livelli sociali sono rappresentati dalla qualità delle finiture interne, dalla posizione nell'isolato e dalla superficie dell'alloggio.

In questo panorama urbano, il centro cittadino è popolato dal ceto borghese medio-alto, mentre le classi medio-basse, a causa dei proibitivi prezzi d'affitto raggiunti in prossimità del borgo storico della città, già da tempo avevano cominciato un graduale esodo verso le zone più periferiche.

La speculazione edilizia della classe imprenditrice porta ad un progressivo inurbamento delle aree precedentemente distaccate dal centro cittadino. Lo sviluppo aveva privilegiato le zone che già presentavano importanti opere di urbanizzazione primaria.

Le logiche costruttive basate sul valore economico del suolo hanno comportato importanti scelte di carattere compositivo sia nella definizione delle tipologie edilizie che dei quartieri.

Il valore delle unità abitative raggiunge il suo picco in corrispondenza delle posizioni d'angolo, nelle arterie stradali principali e diminuisce lungo le strade secondarie, specialmente al centro dell'isolato.

Per ridurre le aree più interne dei rioni, massimizzando i profitti, si sono diffusi modelli di isolati dalla forma stretta ed allungata: al più due lotti sul lato corto con costruzioni contrapposte lungo i lati maggiori caratterizzate da esigue corti interne.

Come enunciato, le considerazioni economiche sul valore del suolo hanno portato gli imprenditori edili a prediligere la tipologia edilizia del condominio: edificio multipiano con alloggi standardizzati e definizione del "piano tipo". In questo modo è stata sancita la scomparsa della differenziazione tipologica in classi sociali, propria della casa da pigione ottocentesca.

Questo cambiamento è stato possibile anche grazie all'invenzione dell'ascensore, che permetteva di garantire la stessa facilità di accesso agli alloggi indipendentemente dal piano; gli ultimi piani, convertiti in tetti giardino, sono stati spesso adibiti a magnifiche terrazze verdi da cui godere della vista sulla città. Secondo una norma del regolamento edilizio, era infatti previsto un arretramento dal filo esterno della facciata di 3 m nel caso in cui venisse superata l'altezza massima di edificabilità. Questo ha dato origine alla diffusa pratica di realizzare delle vere e proprie ville sui tetti della città.

Si denota la sostituzione delle vecchie corti interne con stretti cavedi, progettati unicamente al fine di garantire un affaccio esterno agli spazi di servizio, quali scale, servizi igienici, ecc.

Con l'avanzare degli anni trenta, la tipologia edilizia del condominio è consolidata e porta alla definizione e diffusione della cosiddetta "casa alta".

Quest'ultima consiste in un condominio di altezza media compresa tra i sei e gli otto piani, a seconda della larghezza dell'edificio, disposto lungo il ciglio stradale, a formare con gli edifici adiacenti una compatta cortina edilizia.

Sebbene non sia possibile definire un preciso linguaggio stilistico o una distinzione tipologica in base ai lotti di costruzione, è possibile individuare elementi e schemi volumetrico-distributivi ricorrenti che, con la loro ripetizione, determinano la tipologia edilizia. La distribuzione agli appartamenti avviene mediante il blocco scala, attraverso gli spazi dei pianerottoli, da cui si accede ad un numero di alloggi compreso tra i due e i cinque.

Si rileva la presenza di diverse composizioni volumetriche, tra le quali si evidenziano:

- *La casa d'angolo*: tipologia edilizia di diretta derivazione ottocentesca, possiede due o più affacci diretti sulle arterie stradali;
- *La cortina edilizia*: è rappresentata da edifici che, a causa della scarsa profondità dell'isolato su cui sono costruiti, si compongono di un unico volume compatto e continuo in affaccio diretto sul ciglio stradale;
- *La casa a "U"*: 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*: tipologia edilizia presenta un fronte arretrato rispetto al filo stradale, lasciando spesso spazio ad un giardino. Questa soluzione architettonica deve la sua origine a considerazioni economiche: per una costruzione arretrata, in base a quanto stabilito nel regolamento edilizio, si possono raggiungere altezze maggiori aumentando la volumetria commercializzabile.

Per permettere di leggere il volume edilizio come se fosse allineato al filo stradale, a volte, sono state realizzate due testate laterali a chiusura dello spazio antistante.

- *La casa-torre*: l'abitazione tipo della classe borghese più facoltosa.

Nel corso degli anni '30, in seguito alla crescente densificazione del costruito, sono stati realizzati complessi residenziali frutto di una disordinata composizione di volumi, costituiti da uno schema planimetrico complesso, la cui origine è da ricondursi unicamente al raggiungimento della massima edificabilità.

Oltre ai modelli residenziali presi in considerazione, vi è la realizzazione di altre forme architettoniche: le cosiddette "case basse", edifici a due o tre piani isolati all'interno del lotto di appartenenza; queste trovano diffusione prevalentemente nelle zone urbane più periferiche.

All'interno di quest'ultima categoria residenziale rientrano:

- la villa unifamiliare, unità abitativa indipendente a due o tre piani dotata di giardino;
- la casa a schiera, unità accostate, generalmente occupate dal ceto operaio e dalla piccola borghesia, composte da due piani fuori terra, un piano cantinato e un giardino privato;
- la casa civile, a due o tre piani, che rappresenta una commistione 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.

Infine è presente la tipologia della palazzina plurifamiliare isolata, simile ai condomini ma dislocata all'interno di un lotto come una entità isolata e separata dal contesto edilizio circostante.

Dopo la prima guerra mondiale, le difficili condizioni economiche del paese, la recessione del settore edile e l'incremento della popolazione causato dal ritorno dei reduci e dalle nuove ondate migratorie, hanno determinato un aggravarsi delle condizioni abitative delle fasce più povere della popolazione facendo aumentare l'indice di sovraffollamento degli alloggi.

A fronte di questa situazione, l'Amministrazione cittadina ha deciso di realizzare una serie di interventi residenziali a basso costo: *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. Queste opere erano situate nelle aree più periferiche della città.

Durante il periodo fascista, da parte dell'Amministrazione Pubblica, sono realizzati unicamente interventi allo scopo di ospitare la numerosa popolazione sfrattata in seguito alla demolizione degli alloggi popolari all'interno del centro storico.

Essi sono localizzati 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, comprendenti alloggi spesso composti da un solo locale di dimensioni ridotte. La logica funzionalista con cui tali interventi sono stati realizzati non trova espressione solo nell'estrema limitatezza delle superfici interne, ma investe anche il linguaggio stilistico delle facciate esterne, che appaiono del tutto spoglie.

Al contrario, gli interventi rivolti alla fascia piccolo-borghese sono caratterizzati da un linguaggio formale simile a quello dei palazzi nobiliari: basamento in bugnato con ampio portale d'ingresso e lesene a scandire il ritmo di facciata nei piani superiori.

Si rileva la volontà di imitazione dei modelli dell'edilizia alto-borghese, e dell'eliminazione delle uniformità prospettiche al fine di evitare l'effetto "casermone" simbolo di scarsa ricchezza.

In questo frangente storico emergono, in particolare, le figure degli architetti *Giovanni Muzio, Giò Ponti e Giuseppe De Finetti*.

*Giovanni Muzio* (1893-1982, laurea in Architettura al Politecnico di Milano nel 1915), all'interno dei valori formali degli schemi essenziali del classicismo, ha cercato di elaborare delle nuove espressioni stilistiche, evitandone la ripetizione manieristica.

Esempio di questo rinnovamento del linguaggio dell'architettura è la casa per residenze d'affitto dell'alta borghesia in via della Moscova, all'angolo con via Turati, detta "Ca' Brùta".

In tale progetto si ripresentano i concetti della casa d'angolo e dello sfruttamento massimo dell'area disponibile; gli elementi decorativi sono utilizzati in maniera atipica rispetto alla normale classicità: timpani, archi, oculi, obelischi, nicchie e cornici sono semplificati in elementi bidimensionali, secondo un uso teso a dissimulare la natura dell'edificio stesso.

Un'altra figura di rilievo per quanto riguarda il tema della residenza urbana è *Giuseppe De Finetti* (1892-1952) che introduce all'interno del panorama architettonico milanese delle sostanziali novità: un esempio di studio del problema è dato dalla casa a "ville sovrapposte", o casa della *Meridiana* (1924 - 1925), nel quale il presupposto progettuale è la salvaguardia degli spazi verdi preesistenti sul lotto.

Con il concetto di residenze a ville sovrapposte si concretizza 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.



Fig.053 Casa della Meridiana, via San Calimero - Giuseppe De Finetti

Espressione del movimento razionalista 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 urbano della casa multipiano a media ed alta densità, di livello economico medio, che ha segnato buona parte della trasformazione ed espansione della città.

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, nonché quello tra fronte, retro e cortile.

Il fronte principale è scandito dagli elementi sospesi dei balconi, pur ritrovando nel suo aspetto solido e massiccio uno stretto legame con l'edilizia milanese.



Fig.054 Casa Rustici, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni

Come punto di convergenza tra gli elementi d'avanguardia introdotti dal movimento razionalista e la naturalezza delle abitudini e delle soluzioni perfettamente funzionali della visione neo classica della casa italiana, spicca il progettista Gio Ponti (1891-1979).

Nella casa all'italiana Ponti ha affermato l'importanza del comfort inteso come qualcosa di diverso rispetto alla concezione razionalista del tempo, che vedeva la casa solo come "*machine à habiter*": 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 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".

*Casa in via Domenichino* (1928-1930):

Gli elementi innovativi di questo progetto, eseguito in un lotto d'angolo e caratterizzato dalla forte verticalità, diversamente dai canoni contemporanei della classicità ritrovata, consistono nel sostituire l'articolata decorazione di facciata con un marcato effetto cromatico (colore rosso terranova) sulla parte centrale.



Fig.055 Casa in via Domenichino, Gio Ponti



*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 lusso. La torre, citazione degli antichi bastioni spagnoli, mostra un sofisticato trattamento nel rivestimento delle masse murarie, disposto secondo due orientamenti diversi dei piccoli mattoni di clinker, secondo composizioni geometriche simmetriche. Sulla parte terminale, che arretra progressivamente nei piani più alti, trovano posto fastigi in forma di archi e telai, che richiamano le idee della pittura metafisica.

L'edificio in linea, al contrario, nella sua assoluta semplicità, presenta facciate connotate dalla scansione dei balconi centrali, dal ritmo dei pieni e vuoti, nonché dal rivestimento in marmo chiaro, utilizzato anche nei diaframmi posti sulla terrazza sommitale, elemento che completa l'abitazione stessa e da cui poter godere in maniera più ampia del panorama cittadino.



Fig.056 Casa e Torre Rasini, Gio Ponti

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

L'abitazione è espressione dell'unità fondante del nucleo familiare e la sua funzione sociale consiste nell'adempimento al bisogno di spazio.

Nelle domus di via De Togni, questo comporta una riduzione al minimo degli ambienti di servizio, quali la cucina, il bagno, la stanza della donna, e l'anticamera, per la creazione di un unico ambiente dove poter liberamente comporre soggiorno, sala da pranzo e studio.

Si denotano l'arretramento dei fronti dal filo stradale per consentire la realizzazione 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;
- verde per la Julia.



Fig.057 Domus in via De Togni, la Julia, la Carola, la Fausta

### 1.2.5 L'EDILIZIA RESIDENZIALE NEL SECONDO DOPOGUERRA

Nell'arco temporale successivo alla Seconda Guerra Mondiale, si evidenzia la necessità di far fronte alla richiesta di alloggi e dalla diffusa disoccupazione.

In questo contesto si inserisce il progetto di ricostruzione della città di Milano, eseguito secondo principi di rapidità e di economicità.

Si diffonde l'uso di tecnologie costruttive prefabbricate che richiedono l'utilizzo di poca manodopera specializzata, minimi costi di impianto, produzione flessibile e limitati tempi di posa.

Inizialmente, al fine di minimizzare i tempi di costruzione, 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 hanno portato a 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.

In seguito alla sfrenata speculazione edilizia, che ebbe inizio a guerra conclusa, all'idea di quartiere come spazio per la collettività si è sostituita un'idea di spazio composto da più unità abitative individuali, idealmente indipendenti, accumulate unicamente da una formale vicinanza all'interno dello stesso contesto urbano.

In questo panorama sociale, hanno trovato ampio spazio i progetti di edilizia residenziale popolare che, tuttavia, subisce gli effetti di un regolamento edilizio rigido e schematico che ne previene la possibilità di divenire strumento di riqualificazione della dimensione casa.

Deludente è stato il risultato ottenuto nei quartieri edificati dallo IACP milanese e nei due piani *Ina-Casa*, realizzati tra il 1949-1963



Fig.058 Logo INA-Casa



Fig.059 Case Popolari Ina-casa , via G. Ripamonti 156

Sono di questo periodo, inoltre, l'innovativo *grattacielo Pirelli*, curato da Gio Ponti e la *Torre Velasca* del gruppo BBPR (Banfi, Belgiojoso, Peressutti, Rogers).

Con il suo caratteristico profilo a torre gotica, la Torre Velasca (1950-59) rispecchia quel processo di rivisitazione linguistica ottenuto attraverso una commistione tra un linguaggio di carattere più vernacolare, in riferimento alle torri medievali lombarde, e gli stilemi proposti dal razionalismo.

La particolare forma, che oggi costituisce uno degli elementi di riferimento dello skyline milanese, è il prodotto di un lungo processo di progettazione che trova il proprio fondamento nella ricerca di risposte puntuali al problema della scarsità di suolo e nel regolamento edilizio, che ammetteva un diverso indice di fabbricabilità a seconda della destinazione d'uso del volume edificato.



Fig.060 Torre Velasca, BBPR



Fig.061 Grattacielo Pirelli, Giovanni Ponti

### 1.2.6 L'EDILIZIA RESIDENZIALE DAGLI ANNI '60 AD OGGI

Gli interventi edilizi del Secondo Dopoguerra hanno condotto la città di Milano verso una condizione di disordine compositivo con gravi ripercussioni sulla qualità edilizia.

Nel 1958, per far fronte a questa situazione, sono stati adottati nuovi criteri di revisione in modo da consentire interventi correttivi da realizzarsi sugli edifici del centro storico. Sono stati imposti importanti vincoli relativi all'allineamento dei fronti stradali, delle altezze degli edifici, ed alla conservazione delle facciate, permettendo ad ogni modo di variare la destinazione d'uso dell'edificio.

Questa impostazione ha dato modo di realizzare un volume edificato fino a cinque volte la cubatura che sarebbe altrimenti stato lecito realizzare nel caso di ricostruzione ex novo.

Si diffondono, inoltre, gli interventi di soprizzo, con un incremento del volume edilizio, spesso caratterizzato per la forte identità tipologica in netta contrapposizione con lo stile dell'edificio su cui poggiano.

In questo frangente storico, le costruzioni residenziali più significative sono: gli edifici in via Nieve e in piazza dei Carbonari di Luigi Caccia Dominioni, l'edificio residenziale in via Quadronno e in via Gavirate di Angelo Mangiarotti.



Fig.062 Edificio residenziale in via Nieve di Luigi Caccia Dominioni, 1957



*Condominio in piazza Carbonari: 1960 - 1961 di Luigi Caccia Dominioni*

Questo edificio per appartamenti di lusso fa parte di quel gruppo di residenze progettate da Caccia Dominioni più libere dalle istanze date dal contesto monumentale, grazie alla loro posizione più periferica.

È qui che l'architetto dimostra la sua grande capacità di dominare il linguaggio astratto, inventando una pelle tesa sui volumi tersi, per poi disporre liberamente sequenze di pannelli finestrati o ciechi fino ad ottenere una texture irregolare che svolta sugli angoli e dissimula la struttura statica dell'edificio.

L'effetto grafico è rafforzato dall'uso della litoceramica smaltata e dai serramenti in alluminio a filo, in cui si alternano avvolgibili, scorrevoli e pannelli smaltati.

Se nelle altre case che adottano questo sistema di facciata, però, la composizione astratta è applicata a lastre lunghe e strette imposte dal piano di lottizzazione, in Piazza Carbonari lo stesso sistema di facciata viene sovrapposto ad una sagoma spezzata e irregolare.



*Fig.063 Edificio residenziale in piazza dei Carbonari, 1961 - Luigi Caccia Dominioni*

*Condominio in Via Quadronno: 1959 - 1960 di Angelo Mangiarotti*

Questa costruzione si inserisce nel programma di riqualificazione del lotto compreso tra via Crivelli e via Quadronno, la scelta tipologica è stata orientata verso l'edificio a torre.

Unico nel panorama milanese, l'edificio è perfettamente in linea con l'attitudine, in bilico tra ricerca strutturale, prefabbricazione e nuovo linguaggio architettonico, espressa dai due progettisti nell'arco delle loro carriere, prima come associati e poi ciascuno separatamente.

La pianta del complesso condominiale è asimmetrica: a partire da un unico corpo-scala posto al centro sviluppa due ali di diversa configurazione, a seguire l'orientamento del sole e l'affaccio sul verde antistante la casa. Conseguentemente, mentre le zone meglio esposte hanno pareti esterne prevalentemente vetrate, l'area dei servizi è connotata dall'alternanza tra setti ciechi, montanti in cemento e pannellature in doghe di legno o vetrate.

Il tema principale del progetto è la prefabbricazione del sistema dei pannelli, con tende oscuranti interne dove non tamponati in legno e la soluzione che già all'origine prevedeva l'inserimento del verde rampicante, oggi carattere predominante dell'intervento.



*Fig.064 Edificio residenziale in via Quadronno, 1960 - Angelo Mangiarotti*



Per quanto concerne invece gli interventi residenziali realizzati nelle aree più periferiche, specialmente durante gli anni '70, si assiste ad una perdita di identità nei confronti della cultura architettonica; spesso non sono null'altro che un espediente 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 "Monte Amiata" a Gallarate, costruito tra il 1967 e il 1974 e progettato da Carlo Aymonino e Aldo Rossi.

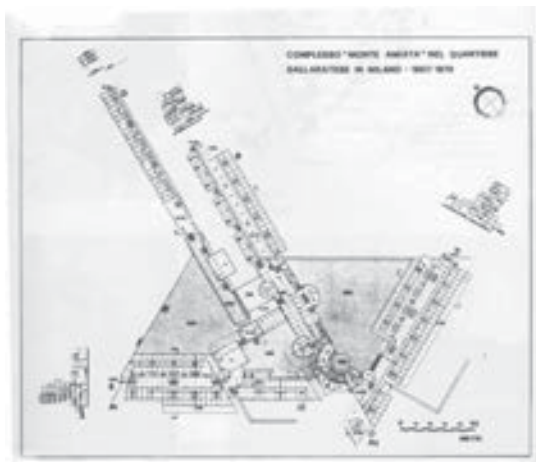


Fig.065 Planimetria complesso "Monte Amiata"



Fig.066 Vista complesso "Monte Amiata"

Ad oggi, diversamente da quanto registrato in passato, l'edilizia residenziale non si caratterizza 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 per una nuova concezione dello spazio abitato, attribuibile più all'ambito del disegno d'interni che non al processo edilizio. Negli ultimi anni, la città di Milano rappresenta un laboratorio sperimentale in cui hanno origine le ultime tendenze culturali, architettoniche e artistiche di tutto il territorio nazionale.

La città costituisce un cantiere a cielo aperto, una realtà in cui coesistono importanti interventi di riqualificazione del tessuto urbano accanto ad interventi di dimensioni assai più ridotte, ma non per questo meno importanti ed interessanti. Sono proprio questi a rappresentare l'unica possibile realtà progettuale all'interno dell'altamente densificato tessuto urbano del centro storico della città.

Ad una attenta osservazione si possono individuare diversi approcci progettuali: da un lato si notano interventi dal carattere più o meno conservativo, che si armoniosamente si inseriscono nel contesto storico presenta, dall'altro sono sempre più numerosi i progetti che con il loro particolare linguaggio architettonico si pongono in dialettico contrasto con la realtà locale.



Fig.067 Breatbuilding, via Torino  
Dante Benini & Partners

Lo studio di architettura *Dante O. Benini & Partners* è stato incaricato di progettare la riqualificazione dell'*edificio Geox*, situato in via Torino a Milano.

La progettazione mira a valorizzare non solo l'oggetto dell'intervento, ma l'intera via, dando vita a un nuovo modo di intendere il rapporto tra l'esistente e gli interventi di restyling architettonico.

Il palazzo storico, all'interno del quale si trova il Geox shop, ha visto demolito l'involucro architettonico esistente per far posto a un nuovo, innovativo, sistema di facciata. La "pelle" mutevole e dinamica è il tratto caratteristico di questo intervento, che modifica il Landmark di tutta la via e del quale ne diviene simbolo. Il progetto, come detto di forte impatto, ha permesso di mettere in sicurezza la struttura dell'edificio esistente ed adeguarlo alle nuove normative energetiche.



Fig.068 Breatbuilding, via Torino - Dante Benini & Partners

Inoltre *Park Associati* ha di recente completato la ristrutturazione dell'edificio: La Serenissima conosciuto come "*Palazzo Campari*", progettato negli anni '60 da Ermenegildo e Eugenio Soncini nel cuore di Milano.

Commissionato dalla Morgan Stanley per adibirlo a sede di uffici, l'edificio può ricondursi a quella serie di realizzazioni che negli anni del boom economico furono rappresentative di un nuovo potere comunicativo dell'industria italiana.

Caratterizzato sin dall'origine dal colore brunito delle strutture metalliche strutturali di facciata, dai vetri fumè del sistema a curtain walls e da pannellature retro verniciate color marrone - metalliche nel corpo minore di via Cavalieri destinato a residenza.

Nel rispetto dell'impostazione originaria, la scelta progettuale è stata quella di lavorare sulla massima flessibilità nella suddivisione degli spazi interni con un'uniformità di lettura data anche dal sistema di illuminazione interna e da un'ottimizzazione dei sistemi degli accessi all'edificio e della distribuzione verticale.



Fig.069 La Serenissima - Park Associati

Non all'interno del centro cittadino, densamente edificato, ma sicuramente simbolo di modernità e innovazione è il progetto architettonico firmato dallo studio milanese CZA - *Cino Zucchi Architetti* il neo-inaugurato edificio U15, nel nuovo quartiere di Milanofiori nord.

Il progetto sviluppa le indicazioni del piano accentuando il rapporto dell'edificio con gli spazi aperti e il disegno del verde, e ponendo grande attenzione sull'orientamento solare e sulla qualità ambientale degli ambienti di lavoro e di relazione con il pubblico.

L'involucro perimetrale che delimita gli spazi interni è diviso in più strati e forma una facciata connotata da una forte plasticità e da uno sdoppiamento dei suoi piani: la parete interna costituita da un involucro tradizionale che alterna una fascia finestrata e serramenti continui con una fascia opaca di parapetto di uguale altezza - e il sistema di frangisole fissi applicati esternamente.

L'effetto architettonico generato da questa "pelle" contraddistinta da sottili variazioni cromatiche dal bronzo all'oro dona all'edificio un forte carattere vegetale di tronco o di siepe dal forte chiaro-scuro in grande coerenza con le indicazioni del piano.



Fig.070 U15- Milanofiori  
*Cino Zucchi Architetti*

La città di Milano sta vivendo 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, come l'Expo 2015.

Expo Milano 2015 è l'Esposizione Universale che l'Italia ospiterà dal 1 maggio al 31 ottobre 2015 e sarà il più grande evento mai realizzato sull'alimentazione e la nutrizione. Per sei mesi Milano diventerà una vetrina mondiale in cui i Paesi mostreranno il meglio delle proprie tecnologie per dare una risposta concreta a un'esigenza vitale: riuscire a garantire cibo sano, sicuro e sufficiente per tutti i popoli, nel rispetto del Pianeta e dei suoi equilibri.

Un'area espositiva di 1,1 milioni di metri quadri, più di 140 Paesi e Organizzazioni internazionali coinvolti, oltre 20 milioni di visitatori attesi.

Sono questi i numeri dell'evento internazionale più importante che si terrà nel nostro Paese.



Fig.071 Expo Milano



### 1.2.7 IL TESSUTO URBANO MILANESE

Si è svolto uno studio sui caratteri tipici delle tipologie edilizie milanesi, in quanto le parti di formazione più recente spesso non hanno gli stessi caratteri di compiutezza e coerenza formale del contesto in cui si trovano.

La città è un insieme ordinato di parti separate, scarsamente legate tra loro, che appartengono indifferentemente alla città antica ed alle più recenti espansioni. La costruzione della città è avvenuta per espansioni, completamenti, riempimenti e sostituzioni; attraverso la lettura delle permanenze storiche è possibile riconoscere i caratteri ed interpretare alcuni aspetti della forma della città.



Fig.072 Immagine satellitare, tessuto urbano milanese

L'analisi di seguito riportata è incentrata sull'immagine della casa come elemento compositivo del panorama cittadino: lo studio della complessa articolazione dei tipi e delle forme, che caratterizzano la costruzione della città attuale, consente la comprensione dei criteri compositivi presenti nella città stessa.

L'indagine avviene secondo due diverse scale di lettura: il rilievo urbano e il rilievo degli edifici.

Il rilievo urbano, che riguarda l'intera città o parti abbastanza estese di essa, consente di riconoscere, all'interno della maglia del costruito, le singole unità edilizie, distinguendone i tipi secondo aspetti di natura geometrica o simbolica.

E' osservato, in primo luogo, il rapporto tra il lotto e l'edificio, ovvero tra la forma del lotto e la collocazione dell'edificio all'interno dello stesso.

I tipi formali, derivanti dalla tradizione della costruzione della città ottocentesca, si distinguono tra la casa ad angolo, la casa a corte e la casa a blocco disposta lungo la cortina edilizia dell'isolato; si tratta di un'impostazione progettuale volta a colmare la superficie edificabile disponibile.

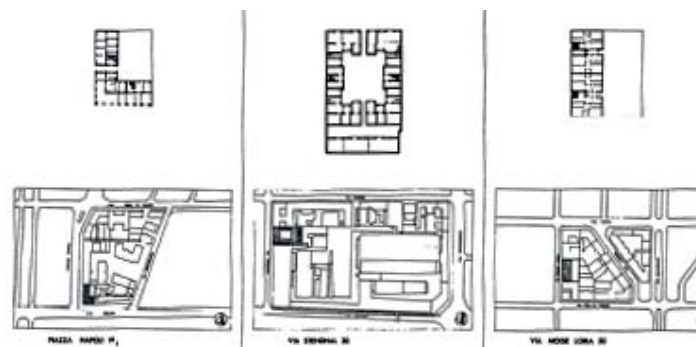


Fig.073 Edificio e forma del lotto - caso 1

Si trovano inoltre esempi nei quali permane un rapporto tra la forma del lotto e quella dell'edificio, ma concretizzato diversamente dai modi propri della costruzione della città compatta: corpi tripli in cortina seguiti da una corte aperta sul lato opposto; edifici ad H con piccole corti aperte su strada; edifici a blocco disposti, inusualmente, con assetto perpendicolare all'affaccio su strada.



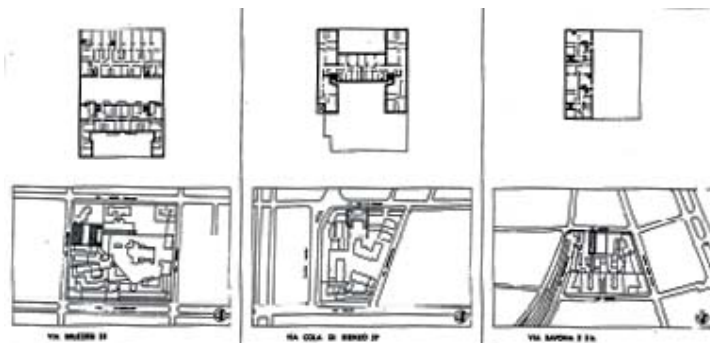


Fig.074 Edificio e forma del lotto - caso 2

Infine sono rilevabili esempi in cui l'impianto dell'edificio è completamente slegato dalla forma del lotto: case isolate; composizioni simmetriche di edifici distaccati tra loro; edifici a pianta libera disallineati dal contesto.



Fig.075 Edificio e forma del lotto - caso 3

In seguito sono valutati gli elementi alla base della composizione formale dell'edificio: il piano terra, il corpo di fabbrica e il coronamento.

Il primo non è necessariamente una rappresentazione adeguata dell'intero fabbricato; il secondo è generalmente disposto liberamente e in modo slegato dai piani bassi ed dai contorni del lotto; il terzo che perde il ruolo di cornice o coronamento dell'edificio, assumendo l'aspetto di costruzioni a sè stanti.

Nel centro cittadino il basamento mantiene una rilevanza formale nel disegno della facciata, rimanendo legato dimensionalmente al resto del fabbricato e del lotto.



Fig.076 Il piano terra - caso 1

In alcuni casi il disegno del piano terra è reso autonomo dal resto dell'edificio, è contrassegnato da dimensioni maggiori e caratteri distributivi e stilistici diversi.



Fig.077 Il piano terra - caso 2

E' possibile riscontrare casi in cui il piano terreno è definito come un'architettura in sè, totalmente distinta dai corpi di fabbrica sovrapposti.



Fig.078 Il piano terra - caso 3

Posto al di sopra del basamento si rileva formalmente il corpo di fabbrica, una parte quantitativamente preponderante, ma spesso meno definita sia architettonicamente sia tipologicamente.

Si distinguono corpi di fabbrica semplici, a torre o blocco e corpi doppi.

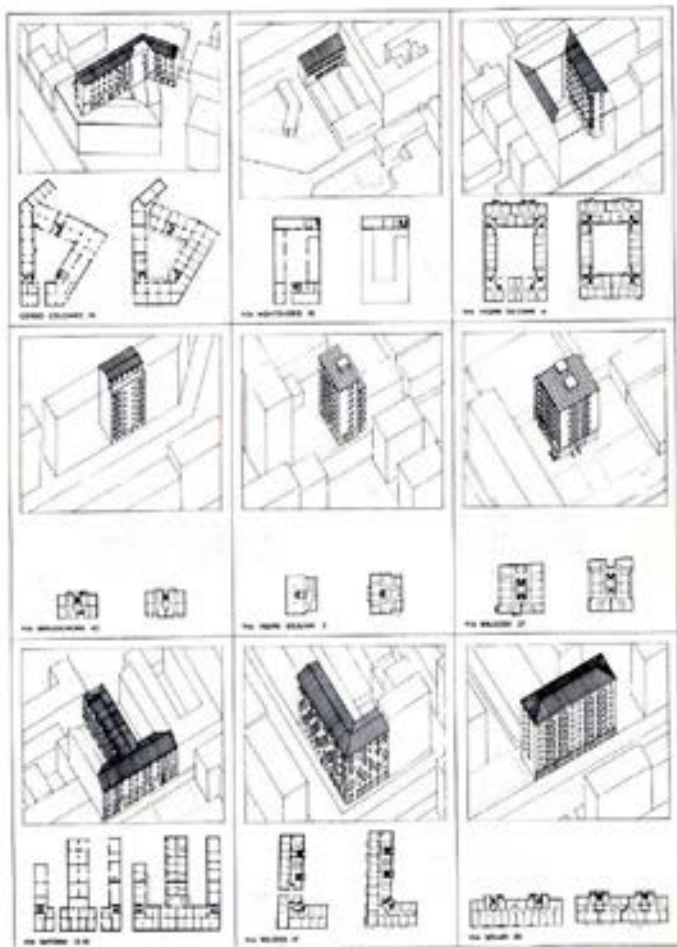


Fig.079 Il corpo di fabbrica

Come precedentemente enunciato, la distinzione relativamente al coronamento degli edifici è svolta in modo analogo a quella del basamento.

Si rilevano tipologie particolarmente leggibili nel disegno di facciata, con funzione di partito decorativo dell'immagine dell'intero edificio.



Fig.080 L'ultimo piano - caso 1

Vi sono coronamenti che, pur realizzati secondo un'idea compositiva legata al resto dell'edificio, se ne distaccano per immagine e dimensioni.



Fig.081 L'ultimo piano - caso 2

Infine si trovano ultimi piani realizzati come veri e propri edifici bassi, formalmente autonomi e appoggiati al corpo di fabbrica come se fossero costruiti al suolo.



Fig.082 L'ultimo piano - caso 3

Dal rilievo degli elementi tipologici componenti il singolo fabbricato si passa allo studio degli isolati come composizione di insieme di lotti edificati.

Tratto caratteristico della città borghese dell'Ottocento è la suddivisione dell'isolato in lotti di forma e dimensione costanti e ripetute con corrispondenti tipi edilizi ben definiti.

Sono presenti forme ricorrenti di lotti ripetuti: il lotto rettangolare, il lotto allungato e il lotto di forma irregolare.

All'interno di essi vi è una variazione del rapporto tra superfici e spazio edificato: si passa da forme riconducibili ad una disposizione a corte, ad una distribuzione diversificata di edifici regolari prima e variamente articolati poi.



Fig.083 I lotti e gli edifici

Elemento connotativo del centro cittadino milanese è dato dalla compattezza dell'affaccio su strada della cortina edilizia.

Vi sono isolati in cui permangono la continuità e la compattezza tipiche di un isolato tardo ottocentesco e di manifatture del periodo tra le due guerre.

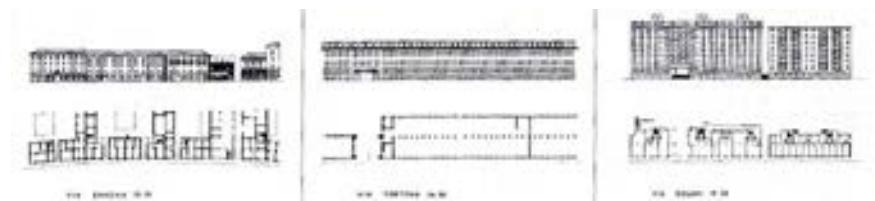


Fig.084 La cortina edilizia - caso 1

In altri casi permane una continuità del costruito, ma viene meno la sua compattezza, in seguito l'accostamento di edifici di altezze molto diverse tra loro, spesso costruiti in epoche differenti.

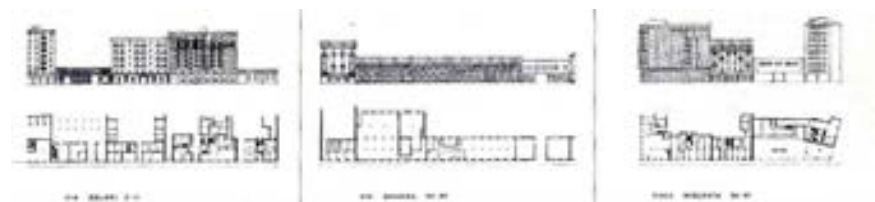


Fig.085 La cortina edilizia - caso 2

Più tipici delle periferie urbane sono gli affacci su strada discontinui, nei quali l'edificato è collocato liberamente all'interno dei lotti e spesso con arretramenti sensibili rispetto all'asse viario.

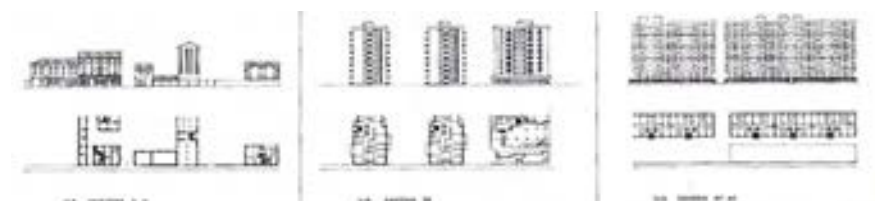


Fig.086 La cortina edilizia - caso 3

Uno degli elementi che maggiormente connotano la formazione degli isolati è la corte; si tratta di un tipo edilizio derivante dal modo estremamente variato secondo cui sono disposti gli edifici.

Si parte da casi in cui la corte appartiene all'edificio nel suo complesso, sia in conformazioni di lotti irregolari, che a pianta quadrata, che nell'affiancamento di due lotti allungati.



Fig.087 Le corti - caso 1

In forma più impropria sono rilevabili corti ottenute come spazi risultanti dall'accorpamento di più edifici; in particolare si evidenzia la difficile distinzione di questa tipologia dalla precedente nelle rilevazioni planimetriche, a differenza delle visuali volumetriche in cui emergono i caratteri distintivi dei diversi edifici.

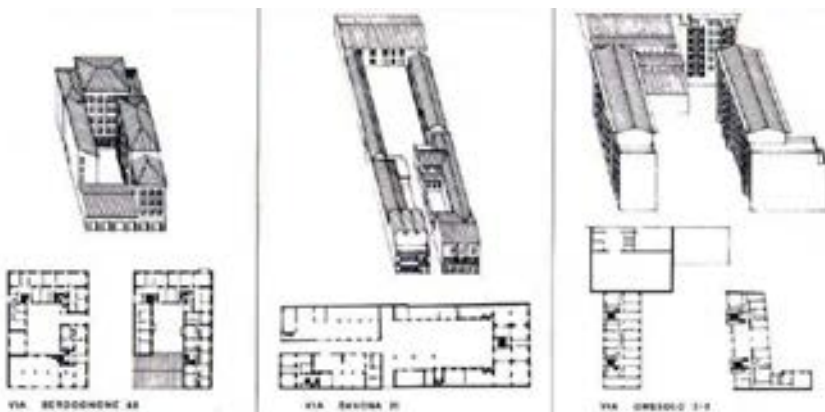


Fig.088 Le corti - caso 2

Vi sono infine spazi a corte come mero vuoto urbano risultanti dalla disposizione di corpi di fabbrica lungo i margini degli isolati.

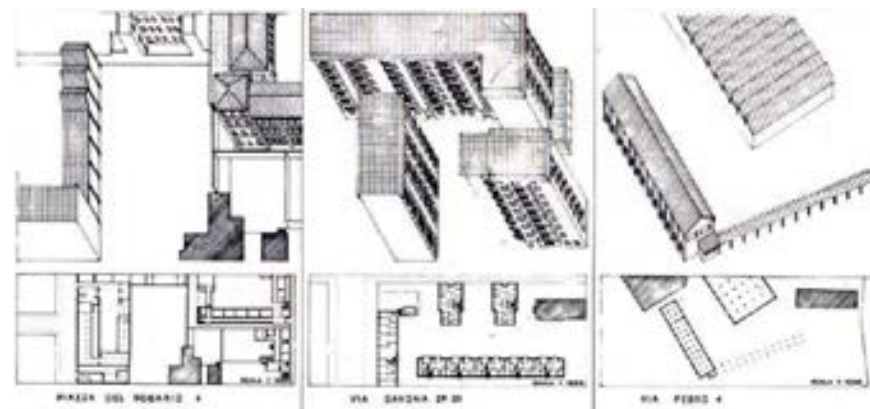


Fig.089 Le corti - caso 3

Un caso privilegiato nella definizione degli isolati è dato dal lotto d'angolo, caratterizzato da due affacci contigui su strada e dall'essere posto in corrispondenza di incroci o piazze.

Per questo motivo la progettazione di questa tipologia ha sempre ricevuto particolare attenzione nella definizione della casa d'angolo.

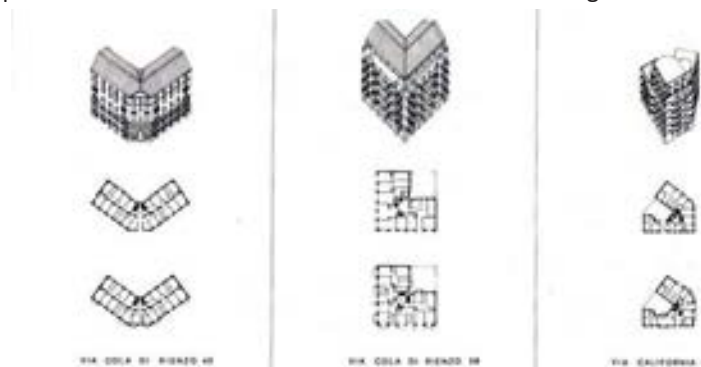


Fig.090 La casa all'angolo - caso 1



Vi sono casi in cui la soluzione d'angolo non è stata attuata mediante l'uso di un tipo edilizio specifico, ma è stato realizzato un corpo di fabbrica del tutto simile ad un edificio in linea, che, in corrispondenza dell'angolo, svolta senza che la sua particolare collocazione influisca morfologicamente e stilisticamente sulla costruzione.

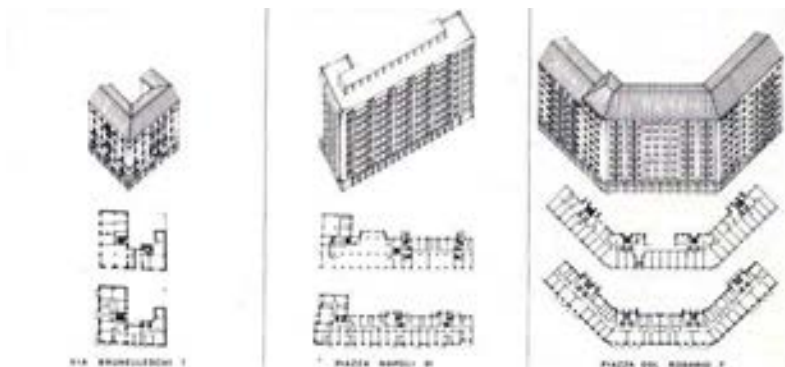


Fig.091 La casa all'angolo - caso 2

Come caso estremo si rilevano edifici che non presentano alcuna deformazione nel corpo di fabbrica e che risultano totalmente slegati dalla loro collocazione.



Fig.092 La casa all'angolo - caso 3

Come ultimo elemento costituente il contesto urbano, si osserva la presenza di edifici isolati, ovvero edifici non accostati ad alcuno dei fabbricati dell'isolato in cui sono inseriti.

Essi possono essere disposti in cortina, in posizione interna o avere una particolare funzione pubblica; in ogni caso risultano liberamente disposti all'interno di un'area la cui forma è rimarcata solamente dalla presenza dei marciapiedi.

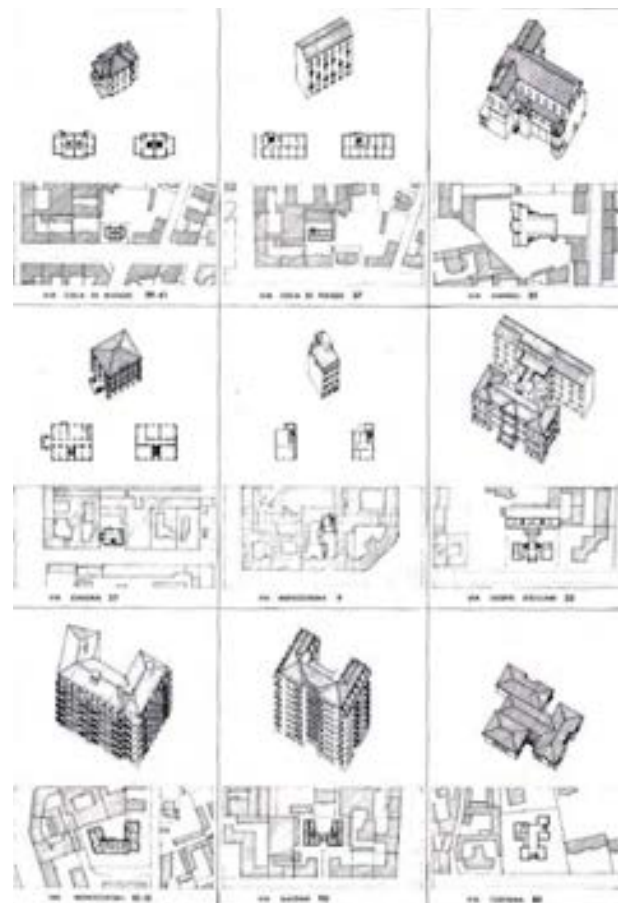


Fig.093 Gli edifici isolati

## 1.3 ANALISI URBANISTICA

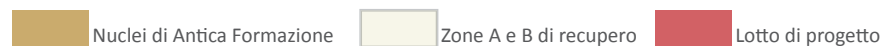
### 1.3.1 INQUADRAMENTO DEL LOTTO DI PROGETTO

L'area di progetto è situata in Via Palermo, al civico 19, nel quartiere di Brera, centro storico di Milano.

Come prescritto nel Piano di Governo del Territorio della città, più precisamente nell'Allegato R.01/2D del Piano delle Regole, il lotto è incluso nell'ambito di zonizzazione definito "A e B di recupero".



Fig.094 Piano delle Regole, Allegato R.01/2D "Ambiti Territoriali"



Suddette aree sono a stretto contatto con il nucleo storico consolidato e sono caratterizzate dalla presenza di vuoti urbani, ovvero spazi non edificati o contenenti rovine di edifici preesistenti; generalmente sono circondate lungo il perimetro da strutture appartenenti al patrimonio storico-architettonico della città.

In particolare, il lotto è costituito da un vuoto urbano prodotto dalla demolizione della preesistenza, in seguito ai bombardamenti della seconda guerra mondiale. La superficie di circa 700 m<sup>2</sup> è delimitata da un muro, sul lato strada, e dagli edifici circostanti sugli altri lati.

Si tratta di un lotto d'angolo tra via Palermo, di larghezza pari a circa 8 metri e a senso unico di marcia, e una traversa senza uscita larga circa 7 metri, che funge da ingresso ad una scuola dell'infanzia.

Tale vuoto urbano rappresenta, inoltre, una rottura della continuità della cortina edilizia esistente, connotata principalmente da fabbricati con un basamento in bugnato, rivestimento dei piani superiori in intonaco e una diffusa regolarità negli allineamenti di facciata e nella scansione dei livelli.



Fig.095 Veduta satellitare dell'area di via Palermo, Milano



Prospetto A-A



Prospetto B-B

Prospetto C-C



Prospetto D-D

Prospetto E-E

Fig.096 Rilievo dei fronti urbani in prossimità del lotto di progetto



### 1.3.2 RILIEVO MATERICO E CROMATICO

Il progetto si inserisce all'interno di un contesto ben definito, pertanto le scelte stilistiche e di linguaggio devono tener conto delle architetture presenti.

L'edificato milanese presenta caratteri di sobrietà formale ed estetica, le variazioni cromatiche rientrano in una gamma di colori che vanno dal giallo caldo al marrone, con differenti tonalità di rosso e di rosa; più raro è l'utilizzo di toni bruni o neri.

Per quanto riguarda i materiali sono rispecchiate le consuetudini costruttive tradizionali:

- intonaco, usato prevalentemente nella definizione dei corpi di fabbrica;
- pietra (ceppo di Grè e ceppo dell'Adda), per i basamenti in genere;
- legno e pvc, nei sistemi oscuranti;
- ferro, nei parapetti e nelle inferiate;
- rame, nella realizzazione di canali di gronda e pluviali.



Fig.097 Via Palermo, Milano



Fig.098 Lotto di progetto



Fig.099 Skyline del centro di Milano



Fig.100 Fronte urbano opposto al sito di progetto



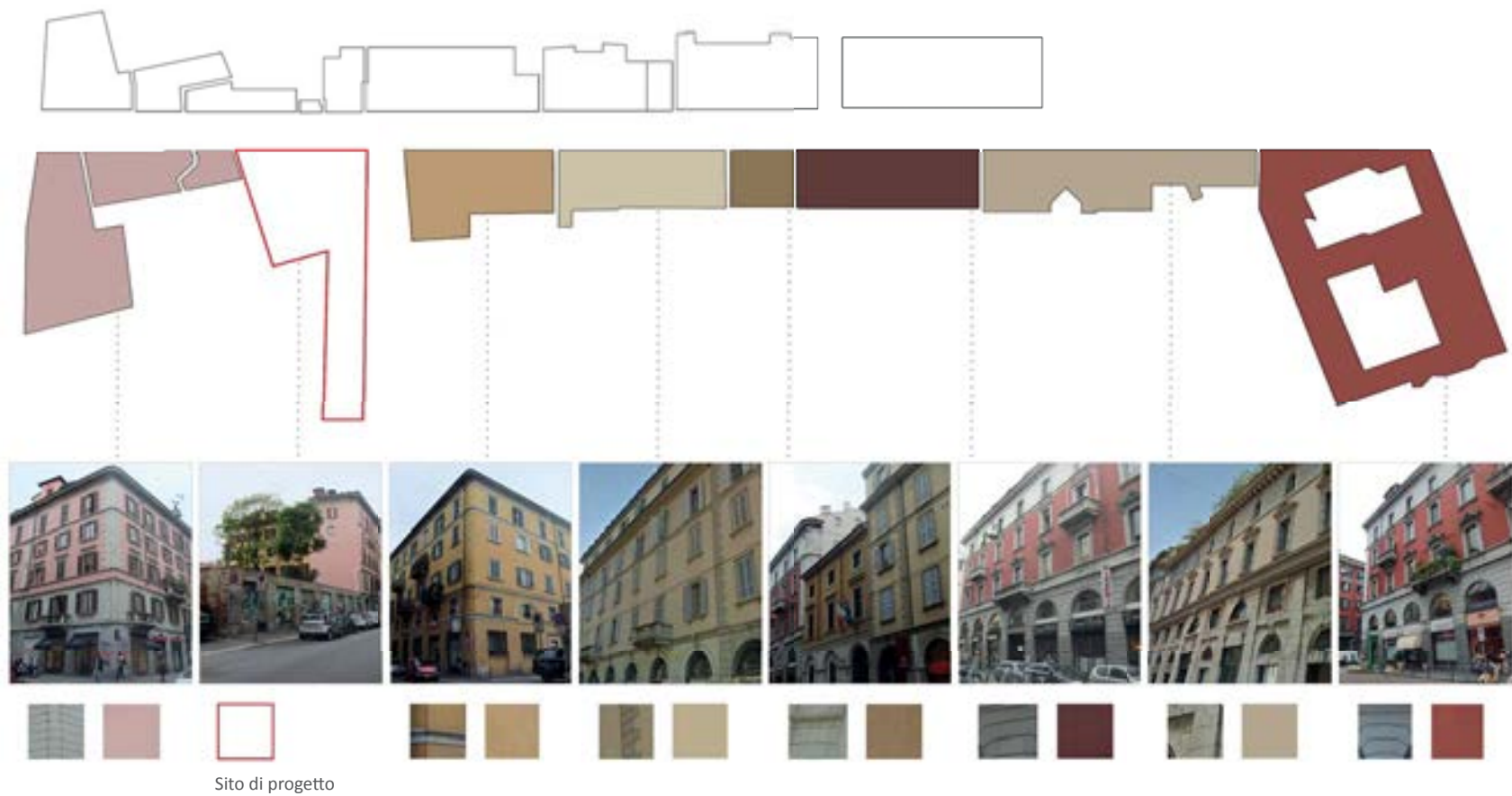


Fig.101 Materiali e cromie del fronte Sud di via Palermo, Milano

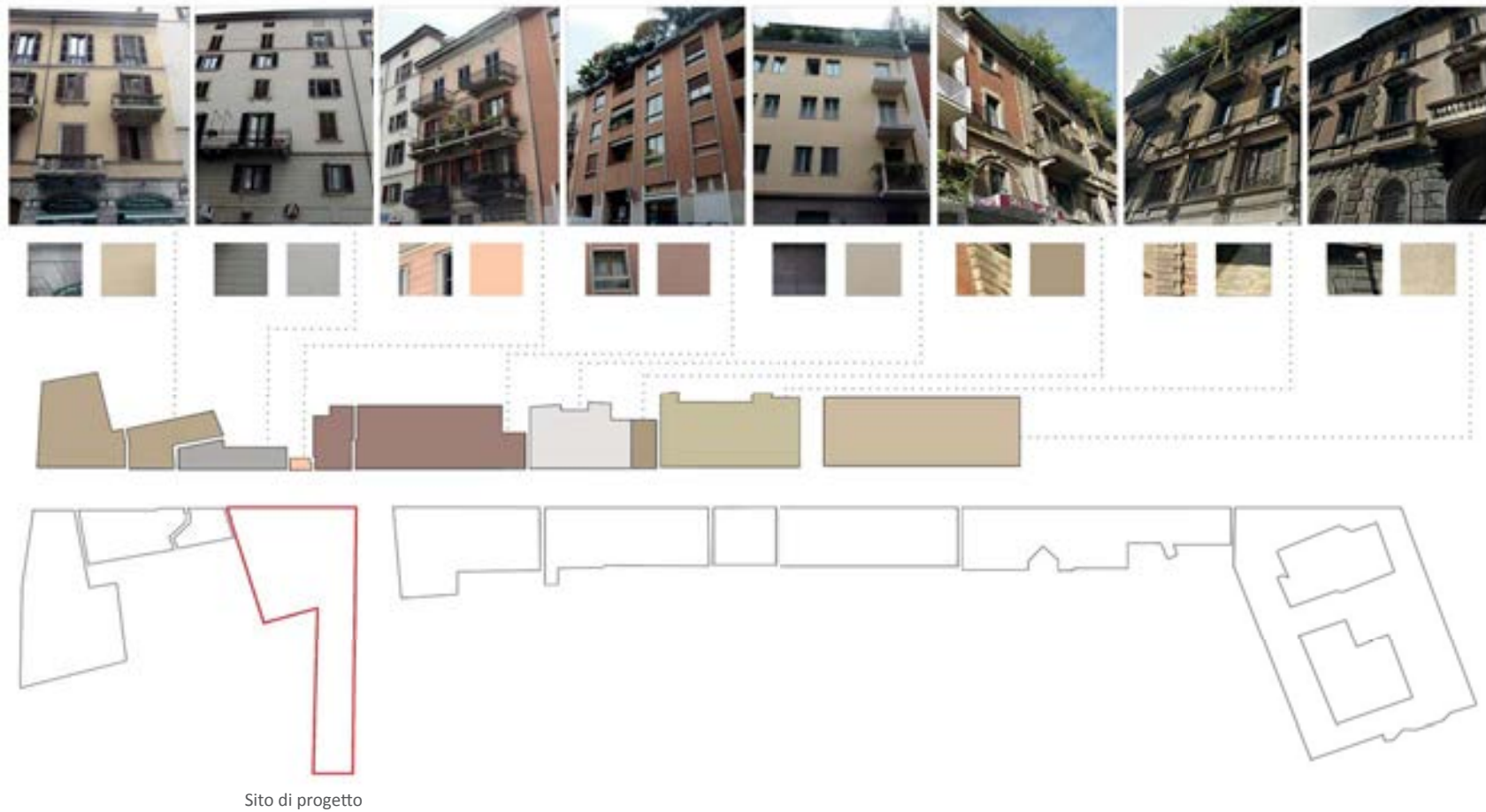


Fig.102 Materiali e cromie del fronte Nord di via Palermo, Milano

### 1.3.3 ACCESSIBILITÀ E TRASPORTI

La città di Milano è caratterizzata da elevati flussi automobilistici, in quanto, come posizione geografica si trova in un punto di snodo tra i collegamenti sia nazionali che internazionali (Svizzera, Francia e Est Europa).

Per quanto riguarda la rete stradale che interessa Milano, si può osservare che a Nord e a Sud della città si sviluppano le reti autostradali collegate dalle strade tangenziali che circondano la città. Oltre a queste, sono presenti varie vie di penetrazione radiale che collegano il centro con le aree extracomunali.

Le principali arterie di collegamento sono:

- autostrada A4 Torino-Venezia, passante a nord della città e che connette il Nord Italia;
- autostrada A8/A9 Milano-Laghi, che, a partire dall'estremo nord della città, permette di raggiungere Varese e la Svizzera, in direzione nord-ovest;
- autostrada A1 Milano-Bologna, si dipana in direzione sud-est della città;
- autostrada A7 Milano-Genova, da sud della città si sviluppa verso sud-ovest.

In aggiunta alla rete autostradale, hanno grande rilevanza anche le connessioni secondarie rappresentate dalle tangenziali, ovvero:

- tangenziale Est, che collega le Autostrade A1 e A4 in direzione Venezia e la Tangenziale Nord;
- tangenziale Ovest, di congiunzione tra le autostrade A1, A7, A8/A9 e A4 in direzione Torino;
- tangenziale Nord, di raccordo tra la Tangenziale Est e la S.S.35 "dei Giovi" in direzione Como.

Milano è servita inoltre da tre aeroporti, raggiungibili anche mediante i trasporti pubblici:

- Malpensa, a nord-ovest e distante circa 45 km dal centro;
- Linate, verso est della città e distante circa 15 km dal centro;
- Orio al Serio, in direzione Bergamo e distante circa 55 km dal centro.

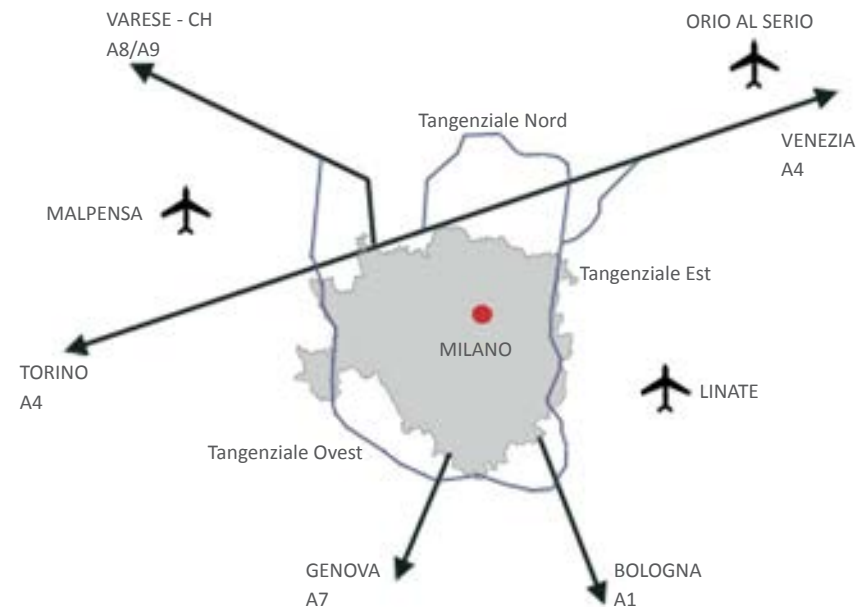


Fig.103 Viabilità stradale extra-comunale

Il sistema viario della città di Milano ha una conformazione concentrica: le connessioni con il territorio extra-comunale avvengono lungo le direttrici radiali.

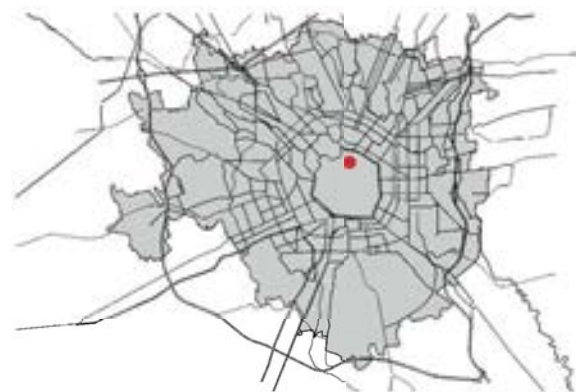


Fig.104 Configurazione radiale della viabilità

A partire dalla Cerchia dei Bastioni verso il centro della città, nella cosiddetta “Area C”, è previsto il pagamento di un pedaggio per l’ingresso di autoveicoli alimentati a benzina o diesel e il divieto di transito per i mezzi maggiormente inquinanti; è gratuito l’ingresso di veicoli elettrici e motoveicoli.



Fig.105 Area soggetta a pedaggio

Oltre alle reti stradali urbana, nazionale ed internazionale, la rete ferroviaria rappresenta un fondamentale mezzo di connessione del comune con il territorio. La città di Milano è infatti un punto di affluenza da parte della popolazione provinciale e regionale, che giornalmente si reca nel capoluogo per motivi lavorativi e di studio, oltre che per turismo.

Le tre stazioni principali della città, poste in zona abbastanza centrale, sono quelle di Cadorna, di Porta Garibaldi e Centrale. Quest’ultima rappresenta il punto di partenza principale per le tratte di lunga percorrenza, tra cui due linee ad alta velocità, ovvero Milano-Torino e Milano-Bologna. Altre stazioni ferroviarie cittadine secondarie sono situate nelle aree di Lambrate, Porta Genova, Porta Vittoria e Rogoredo.

La città è dotata inoltre di un passante ferroviario sotterraneo che la attraversa da Nord-Ovest (Certosa e Bovisa) a Sud-Est (Rogoredo), con funzionamento simile a quello di una linea metropolitana con un raggio di competenza più esteso ma con un frequenza di transito minore.

Al passante si aggiunge il servizio delle tre linee metropolitane cittadine:

- linea M1 (rossa) che da Sesto 1° Maggio, a nord-est, attraversa la città orizzontalmente, per poi biforcarsi verso Rho-Fiera a nord-ovest e Bisceglie a sud-ovest;
- linea M2 (verde) che da Cologno-Nord/Gessate, a nord-est, raggiunge Abbiategrasso/Assago-Milanofiori-Forum, a sud ovest;
- linea M3 (gialla) che congiunge, in direzione verticale, l’area di Comasina a quella di San Donato.

Sono previsti progetti di prolungamento di tali linee e di costruzione di altri due percorsi metropolitani: il primo (M4) tra Linate, a est, e Lorenteggio, a sud-ovest, attraverso viale Forlanini; la seconda (M5) congiungente Sesto San Giovanni e San Siro e passante per la stazione di porta Garibaldi.

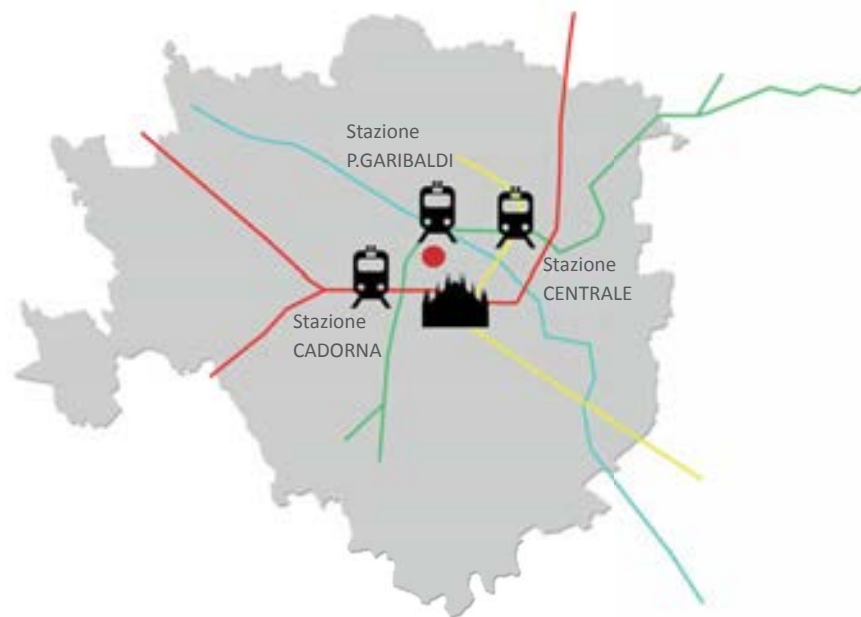


Fig.106 Viabilità dei mezzi pubblici



La rete dei trasporti milanese comprende anche trasporti di superficie come tram e bus che permettono di raggiungere quasi ogni punto della città.

In base a quanto indicato nella tavola S03 del Piano dei Servizi, contenuto nel PGT, il lotto di progetto è situato in una *zona ad elevata accessibilità*: l'area risulta ben fornita in tema di trasporto pubblico.

In particolare, sono raggiungibili nelle immediate vicinanze tre stazioni della metropolitana: Turati (linea gialla M3), Moscovia e Lanza-Brera-Piccolo Teatro (linea verde M2); la più vicina è Moscovia, a 300 m, mentre la più lontana è Turati, a 800 m.

Con la metropolitana è possibile raggiungere in pochi minuti una delle tre stazioni ferroviarie principali della città; in alternativa, sono presenti cinque fermate dei tram: Legnano-Arena, Buonaparte-Lanza, Cavour, Donegani-Moscova e Turati-Donegani.

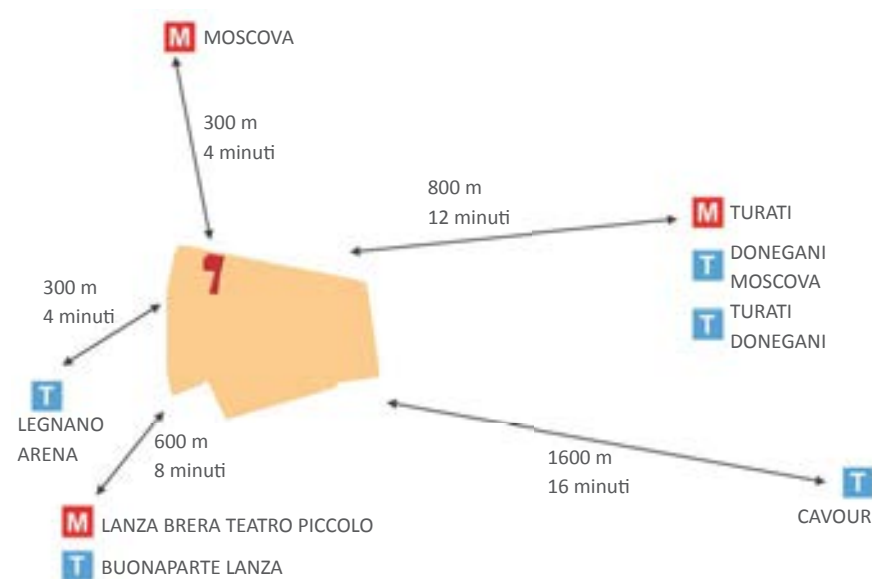


Fig.107 Viabilità nei pressi dell'area di progetto

Nel 2008 è stato istituito il servizio di bike sharing milanese BikeMi, con 3370 biciclette a disposizione, distribuite in 188 stazioni; attualmente la rete di piste ciclabili milanesi è in corso di sviluppo.


Il lotto non subisce interferenza alcuna da parte dei mezzi pubblici, in quanto i loro percorsi non transitano in adiacenza ad esso; in conclusione, si riportano le distanze e le tempistiche necessarie per raggiungere i principali punti di interesse a partire dall'area di progetto, in auto, a piedi o con mezzi pubblici.


Tab.001 Distanze e tempi di percorrenza dal sito di progetto ai principali punti di interesse

PUNTI DI INTERESSE	AUTO		PEDONI		MEZZI PUBBLICI
	Minuti	km	Minuti	km	Minuti
Duomo	11	2	23	1,5	25
Brera	3	1	8	0,6	5
Stazione Centrale	8	3,5	33	2	30
Stazione P. Garibaldi	4	1,7	22	1,5	20
Stazione Cadorna	6	2	17	1,2	30
Aeroporto Malpensa	41	44	-	-	70/90
Aeroporto Linate	30	17	-	-	60
Aeroporto Orio al Serio	42	53	-	-	100




Fig.108 Uscita della metropolitana di fronte a Corso Garibaldi

 Lotto di progetto

 Strade a doppio senso di marcia



 Strade a senso unico di marcia



 Strade a traffico limitato



Fig.109 Viabilità stradale del quartiere di Brera:  
- Via Legnano  
- Via Palermo  
- Corso Garibaldi



#### 1.3.4 SERVIZI

L'analisi dell'intorno dell'area di progetto è svolta con l'intento di individuare i servizi urbanistici presenti e raggiungibili in un raggio di circa 1 km, nel rispetto di una logica di comodità nella fruizione degli stessi.

Si è cercata la presenza delle strutture reputate imprescindibili per un tenore di vita sufficientemente elevato:

- supermercati e centri commerciali;
- istituti di istruzione primaria e secondaria;
- università;
- strutture per la cultura e l'intrattenimento;
- strutture sportive;
- strutture sanitarie;
- giardini pubblici.

La scelta delle funzioni pubbliche che integrano il progetto, stabilendone il livello di interazione con l'ambito cittadino circostante, scaturisce dall'analisi dei servizi esistenti e dalla loro distanza.

Tali informazioni sono reperibili nel Piano dei Servizi, Allegati S.01/2D e S.02/2D, del PGT di Milano, e sono state verificate con sopralluoghi e con l'ausilio di strumenti informatici, quali ad esempio Google Maps.

Per quanto riguarda la formazione scolastica, nelle immediate vicinanze dell'isolato sono presenti un asilo nido e due istituti di istruzione privati; mentre, in relazione ai poli universitari milanesi, si annoverano:

- Università Bicocca, a circa 5,2 km;
- Politecnico di Milano (Bovisa), a circa 4,6 km;
- Politecnico di Milano (Piola), a circa 3,9 km;
- Università Bocconi, a circa 3,6 km;
- Università Statale, a circa 2 km;
- Università Cattolica, a circa 1,6 km;
- Accademia di Belle Arti di Brera, a circa 550 metri.

Proprio la presenza di quest'ultima ha decisamente contribuito all'impronta

nettamente di carattere artistico e artigianale assunta negli anni dal quartiere, diventato il punto di riferimento del design milanese.



Fig.110 Il cortile dell'Accademia di Brera alla fine del XVIII secolo, stampa d'epoca



Fig.111 Il cortile dell'Accademia di Brera nella configurazione odierna

Il patrimonio artistico e museale della città è contenuto all'interno di numerose gallerie e spazi espositivi. La presenza di edifici post-industriali in zone centrali consente di disporre di grandi spazi molto flessibili, usati durante eventi come, ad esempio, il Fuorisalone della Fiera del Mobile.

Degna di nota è la collezione della Pinacoteca di Brera, con opere che spaziano tra il '500 e il '900; mentre il Museo del Novecento in piazza Duomo contiene collezioni di arte moderna e contemporanea.

Il museo della Triennale ha rilevanza internazionale per il design e l'architettura, con mostre temporanee ed eventi; nel castello sforzesco sono presenti nove tra musei e collezioni, quali una pinacoteca, un museo egizio, un museo della preistoria e spazi espositivi per mostre temporanee.

Infine, nell'ambito della cultura e dell'intrattenimento, si denota la presenza del Piccolo Teatro, comprensivo delle scuole teatrali annesse, che ha contribuito a rendere 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 cronologicamente il primo teatro stabile italiano, nonché il più conosciuto, in Italia e all'estero.



Nel centro storico, gli unici parchi pubblici presenti degni di nota sono il Parco Sempione e i Giardini Pubblici Indro Montanelli di Porta Venezia; due grandi aree che non si configurano solamente come spazi verdi ma bensì come dei veri e propri parchi urbani completi di servizi per l'utenza e ospitanti parte del patrimonio architettonico e culturale milanese.

Vi sono comunque altre realtà di dimensioni ridotte, quali il Parco delle Basiliche o il Giardini Perego, oltre a numerosi giardini privati: tra questi spicca il Giardino Botanico dell'Accademia di Brera, di circa 5000 m<sup>2</sup>, situato all'interno del celebre palazzo, si tratta di un vero e proprio museo all'aperto, con un'importante valenza didattica.

Recentemente, Milano si è dotata di un piano del verde nell'ambito dell'Expo 2015: gli obiettivi principali sono di espandere la superficie a verde per abitante dai 13,5 m<sup>2</sup> attuali ai 30 m<sup>2</sup> nel 2030, e di integrare gli spazi esistenti con le aree



Fig.112 Parco del Sempione, Milano



Fig.113 Orti Botanici dell'Accademia di Brera, Milano

future in un disegno coerente e diffuso nel tessuto cittadino.

Nell'ambito della salute, si rileva la presenza di una molteplicità di strutture, sia pubbliche che private.

Elemento di rilievo è costituito dall'Azienda Ospedaliera Fatebenefratelli e Oftalmico, il quale si configura come un polo sanitario centrale a servizio di un bacino d'utenza ben maggiore di quello presente nel mero territorio comunale.

Infine sono state individuate le aree a parcheggio esistenti nell'intorno di via Palermo: si tratta prevalentemente di parcheggi a pagamento, interrati o racchiusi in apposite strutture, generalmente di proprietà privata; solo in alcuni casi sono presenti parcheggi pubblici a livello stradale, ma sempre a pagamento.



- Area di progetto
- Istruzione
- Università e ricerca
- Cultura
- Salute
- Luoghi di culto
- Centri sportivi
- Parchi e giardini
- Parcheggi

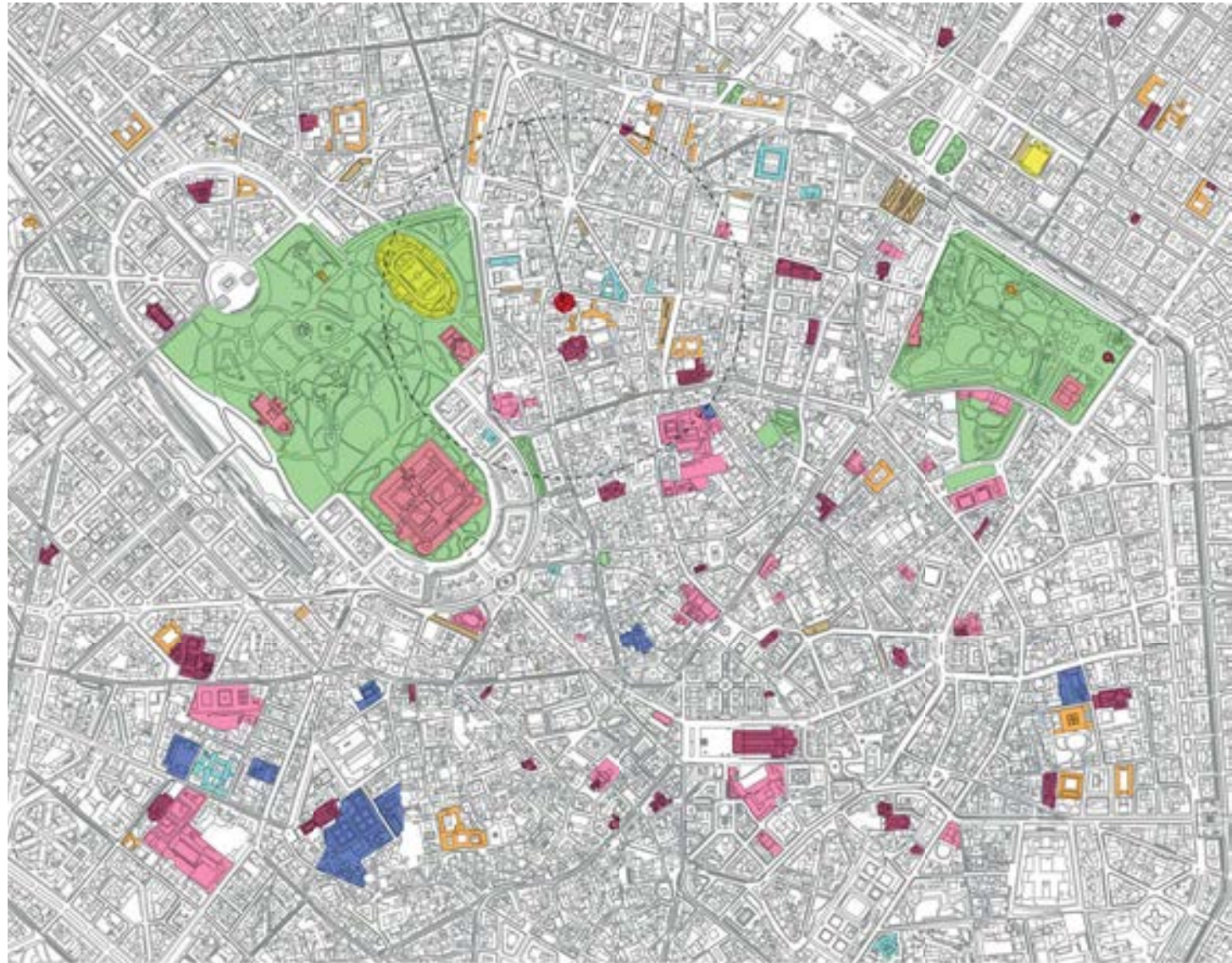


Fig.114 Inquadramento dei servizi

Dal punto di vista delle attività commerciali, sono presenti negozi alimentari di grandi superfici degni di nota all'interno dell'area considerata, dato che si trovano in zona numerose attività artigianali come panifici, bar e negozi di vicinato: in definitiva, il quartiere può definirsi comunque ben fornito per quanto riguarda i beni di prima necessità.

Corso Garibaldi, Corso Como e, in generale, l'area di Brera sono connotati da particolari addensamenti di attività commerciali in sinergia tra loro e con la città stessa, a servizio del quartiere.

La facile accessibilità pedonale, propria delle zone a traffico limitato, consente una notevole fruibilità e vivibilità del quartiere, innalzandone significativamente la qualità della vita.

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

Le attività commerciali rilevate comprendono esercizi appartenenti alle più disparate tipologie:

- attività di lusso;
- attività di quartiere;
- bar e pub;
- discoteche;
- ristoranti;
- uffici;
- hotel.

Ove, 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 altre varie botteghe normalmente riscontrabili in un tessuto urbano.

Tra gli uffici vi sono varie agenzie di organizzazione eventi, banche, sedi di partito, e quant'altro.

Tab.002 Numero e categorie di attività commerciali presenti nell'area di Brera

ATTIVITÀ COMMERCIALI			
Tipologia	Attività di lusso	Attività di quartiere	Bar e pub
Quantità nel quartiere	20	350	56

ATTIVITÀ COMMERCIALI				
Tipologia	Discoteche	Ristoranti	Uffici	Hotel
Quantità nel quartiere	4	79	31	3

Si delineano modalità di fruizione differenti da parte degli utenti a seconda degli orari e della zona.

Il quartiere di Brera è frequentato da un'utenza media di età compresa tra i 30 e i 50 anni, per un periodo temporale coincidente con l'intero arco della giornata.

In Corso Como, mentre durante la mattinata si ha un'utenza di età media tra i 30 e i 50 anni, alla sera vi si rileva una forte componente giovanile.

Corso Garibaldi rappresenta una sorta di commistione tra le due zone precedenti e non mostra alcuna prevalenza di tipologia d'utenza durante l'arco della giornata.

Tab.003 Categorie di utenza nelle zone limitrofe al sito di progetto

CICLO	CORSO COMO	CORSO GARIBALDI	QUARTIERE BRERA
Diurno	Fascia d'età 30-50	Fascia d'età 20-50	Fascia d'età 30-50
Notturmo	Fascia d'età 20-30	Fascia d'età 20-50	Fascia d'età 30-50

L'area urbana esaminata risulta ben servita da disparate attività commerciali, seppur con carenza di luoghi di sosta e di riflessione nelle zone più trafficate.

Per le funzioni pubbliche del progetto si sceglie di inserire un caffè in chiave letteraria e artistica, data la vicinanza a strutture scolastiche e universitarie.

Si apre la corte interna, adibita a giardino, resa usufruibile da parte della cittadinanza come luogo riparato dai rumori del traffico urbano.

Infine si prevede la realizzazione di uno spazio espositivo, ad integrazione delle attività culturali e degli eventi che spesso vengono organizzati nel comprensorio, come precedentemente enunciato.

- Area di progetto
- Attività di lusso
- Attività di quartiere
- Bar e pub
- Ristoranti
- Uffici
- Hotel

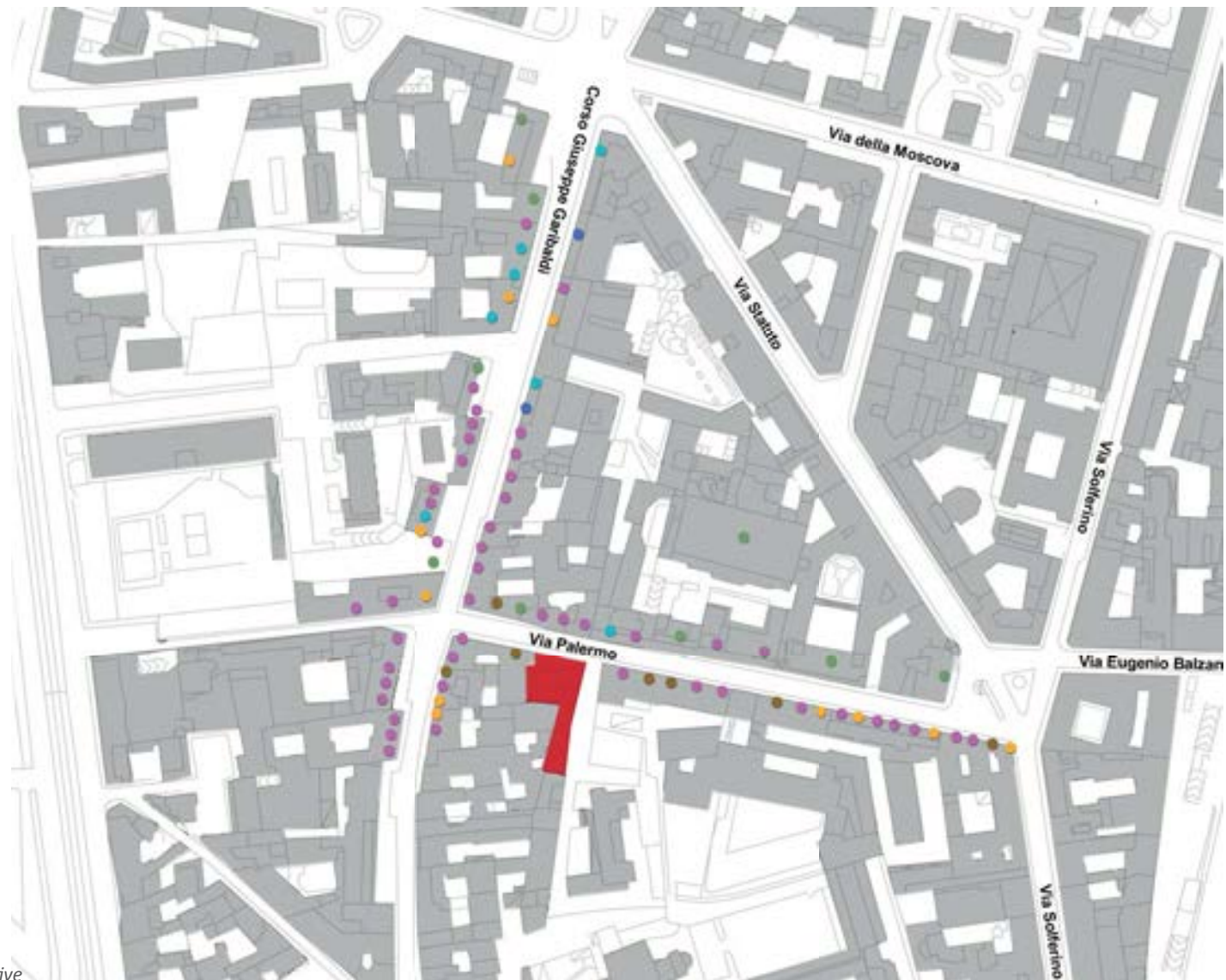


Fig.115 Attività commerciali e produttive



### 1.3.5 DEMOGRAFIA

Per effettuare la seguente analisi demografica, è stato preso come riferimento l'Allegato 2 al Documento di Piano del PGT di Milano, i cui dati sono stati integrati mediante fonti ISTAT e dell'Anagrafe comunale.

Milano, capoluogo della Regione Lombardia, è la seconda città per numero di abitanti in Italia, con più di 1.320.000 abitanti; la zona 1 del centro storico presenta una elevata densità abitativa, mentre le zone circostanti sono più diradate.

Come si osserva dai risultati dei censimenti dell'ultimo secolo, la città ha subito un calo demografico che solo recentemente ha invertito di tendenza, fatto dovuto ai flussi migratori, dato che il bilancio tra natalità e mortalità, ovvero il saldo naturale, permane a valori negativi.



Fig.116 Censimenti della popolazione residente a Milano, fonte ISTAT

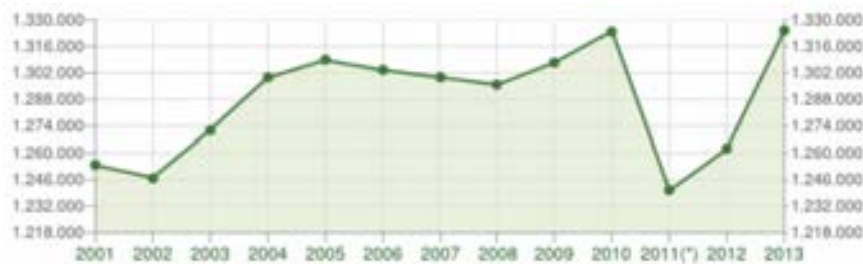


Fig.117 Andamento della popolazione residente a Milano, fonte ISTAT

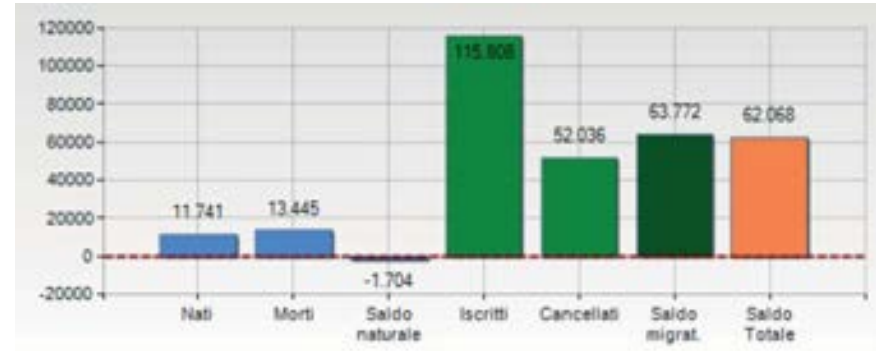


Fig.118 Saldo naturale e sociale di Milano nel 2013, fonte ISTAT

La popolazione urbana rimane stabile grazie alla potente attrazione di Milano per gli stranieri: diverse comunità straniere vivono a Milano.

A seguito è riportato il grafico della "piramide di età", che rappresenta la distribuzione della popolazione residente, divisa per sesso, classi di età e stato civile.

Si evidenzia un rigonfiamento corrispondente alla fascia di età tra i 40 e i 50 anni, dovuto in prevalenza all'incremento delle nascite degli anni sessanta, a fronte di una contrazione del numero di residenti d'età compresa tra 0 e 30 anni, sintomo della successiva crisi delle nascite.

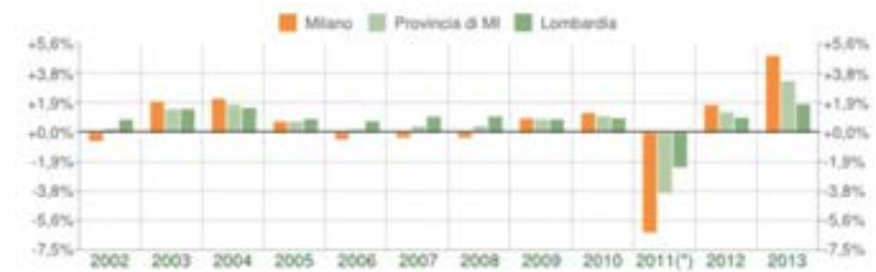


Fig.119 Variazione percentuale della popolazione residente, fonte ISTAT



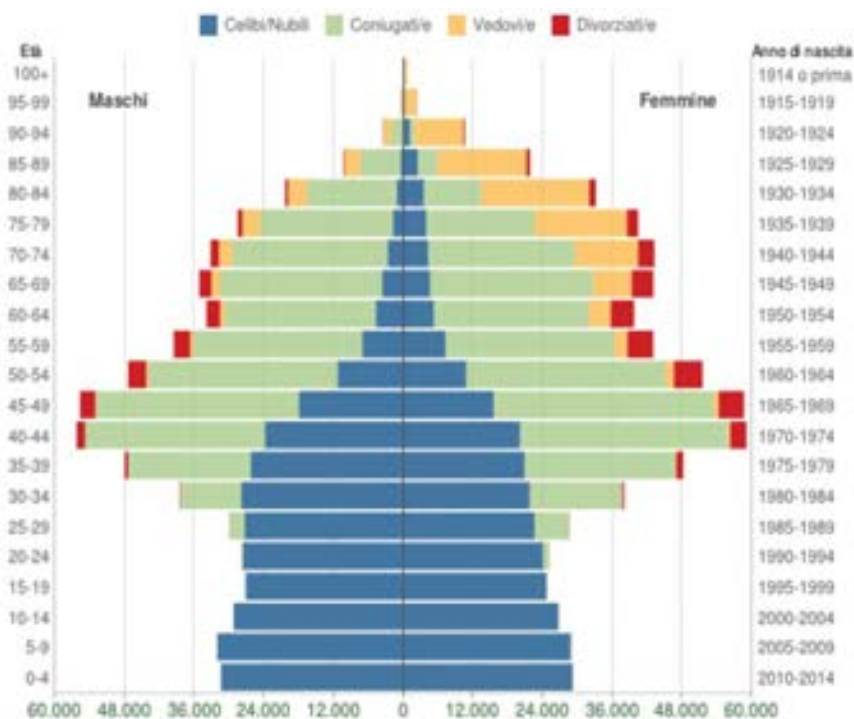


Fig.120 Popolazione di Milano per età, sesso e stato civile, fonte ISTAT

Il bilancio della popolazione rimane in definitiva positivo, giustificando interventi di edificazione e sostituzione edilizia di tipo residenziale.

In particolare si analizza la composizione del nucleo familiare, al fine di stabilire in seguito le tipologie residenziali di progetto più appropriate.

Dalla tabella riportata di seguito si denota l'aumento delle persone che vivono indipendentemente anche fino ai 50 anni di età, come deducibile dalla rappresentazione della "piramide".

Il forte aumento delle famiglie monocomponente è avvenuto a discapito delle famiglie numerose: attualmente solo la popolazione immigrata ha in genere più di un figlio.

Tab.004 Composizione del nucleo familiare dei residenti a Milano

COMPONENTI	1991		2014		VARIAZIONE
	Valore	%	Valore	%	
1	186.650	32,0	379.035	52,7	+50,8
2	163.516	28,0	164.435	22,9	+0,6
3	123.829	21,2	91.976	12,8	-25,7
4	86.116	14,7	62.776	8,7	-27,1
5	18.973	3,2	15.552	2,2	-18,0
6+	4.805	0,8	4.900	0,7	+1,9
Totale	583.889	100,0	718.674	100,0	+18,8

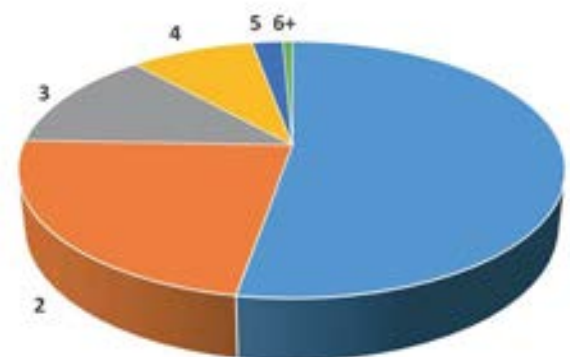


Fig.121 Grafico della composizione del nucleo familiare a Milano

In conseguenza di quanto analizzato, si è deciso di optare, in fase di progettazione, per una maggioranza di residenze di piccole dimensioni, pur mantenendo la presenza di appartamenti adatti a famiglie più numerose.

## 1.4 ANALISI CLIMATICA

Nella progettazione di un edificio ad alta efficienza energetica, in grado di minimizzare i consumi energetici, anche mediante la captazione e lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, non è possibile prescindere dalla natura geografica e climatica del luogo oggetto di intervento.

A questo proposito si individuano le fonti che offrono i dati climatici registrati nel tempo ed elaborati opportunamente: in tale accezione si rivelano utili per la progettazione della forma e delle prestazioni dell'involucro edilizio, nonché per la scelta delle tipologie impiantistiche da adottare.

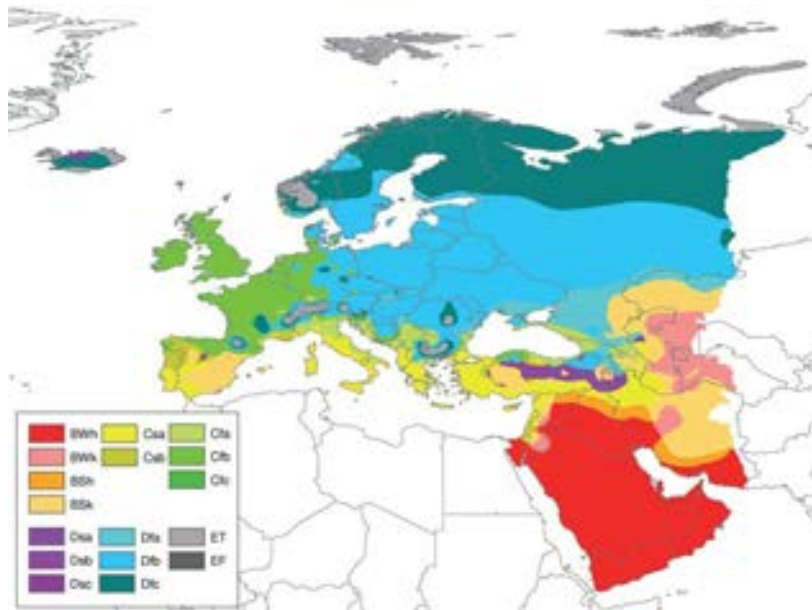


Fig.122 Classificazione climatica secondo Koppen relativamente all'area Europea

### 1.4.1 POSIZIONE GEOGRAFICA

L'area di progetto è collocata in via Palermo, nel centro del Comune di Milano, dalla parte occidentale dell'Alta Pianura Padana; pertanto si riscontra un clima di tipo temperato umido subtropicale, proprio delle medie latitudini, come descritto nel Sistema di Classificazione Climatica di Koppen.

Tale contesto climatico è contraddistinto da temperature miti, piogge intense e frequenti durante i mesi primaverili ed autunnali.

Come per tutte le grandi città del mondo, l'effetto isola di calore porta ad un innalzamento delle temperature del centro cittadino rispetto a quelle dei territori circostanti.

Conseguentemente i quartieri centrali sono connotati da temperature minime lievemente più alte, fino a 2°C o 3°C in più, rispetto alle aree periferiche, che risentono delle masse di aria fredda ed umida provenienti dalle campagne.

Inoltre i quartieri meridionali della città sono frequentemente interessati dalla nebbia durante l'inverno, comportando temperature massime fino a 2°C più basse rispetto a quelle del resto del territorio.

In complesso, le temperature minime invernali del centro urbano risultano più alte che in periferia, mentre in estate questa differenza si attenua.

La collocazione geografica del sito di progetto è la seguente:

- altitudine 122 m.s.l.m.
- zona altimetrica Pianura
- latitudine 45° 28' 38'' N
- longitudine 09° 10' 53'' E

Di seguito si riportano le informazioni riguardanti la distribuzione dei venti, l'intensità delle precipitazioni, i valori dell'umidità relativa, dell'irradianza e delle temperature che interessano l'area del Comune di Milano.

Le principali fonti utilizzate per il reperimento dei dati climatici sono costituite dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e dalle rilevazioni della stazione meteorologica di Milano Linate.

### 1.4.2 TEMPERATURE DELL'ARIA ESTERNA

Di seguito si analizzano le temperature dell'aria esterna medie giornaliere, medie mensili e medie annuali del periodo di tempo compreso tra il 1990 e il 2011.

Il clima milanese è caratterizzato da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie invernali tra gli 0°C e i 4°C ed estive con massime che oscillano tra i 25°C e i 30°C.

Nella stagione fredda, le temperature minime possono arrivare anche a diversi gradi al di sotto dello zero nelle ore notturne, talvolta rimanendo negative o prossime allo zero anche nelle ore centrali della giornata, soprattutto in quelle zone interessate dal fenomeno della nebbia.

In estate, invece, le temperature massime possono toccare, specie in presenza dell'anticiclone Sub-Tropicale, punte di +38°C o, addirittura superiori.

Come già accennato, il fenomeno dell'isola di calore acuisce il surriscaldamento dell'aria durante i mesi estivi, ove la temperatura è quasi sempre superiore ai valori massimi relativi all'intervallo di comfort.

L'andamento delle temperature è influenzato dai valori di intensità della radiazione solare, che risultano minori nei mesi invernali e molto elevati nella stagione estiva.

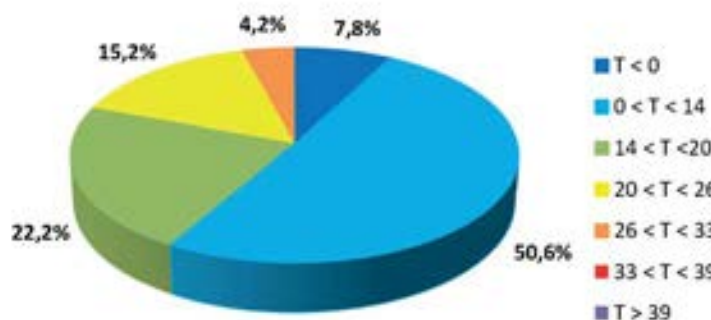


Fig.123 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano

Tab.005 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano, parte I

MESE	GIORNO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Gennaio	2,9	3	0,7	1,2	0,9	2,2	1,8	2,9
Febbraio	7,4	7	10	4,8	5,5	6,5	9,1	6,7
Marzo	3,3	2,3	2,3	5	9	10,1	8,1	6,4
Aprile	9,4	11,1	8,4	8,9	11,9	12,7	11,6	12,6
Maggio	17,1	14,7	14	11,2	10,4	13	16,5	15,1
Giugno	23,1	24	21,2	20,4	19	16,1	17,4	16,7
Luglio	23,2	22,8	23,3	25,2	23,1	20,2	21,8	25,1
Agosto	23	24	24,5	23,5	25,6	27,2	26,6	26,3
Settembre	20,9	23,1	25	25,9	25,4	23,8	23,4	23,5
Ottobre	15,5	15,6	16,5	16	16,4	16	15,3	14
Novembre	13,5	12,5	11	10,8	10,8	10,5	9,4	7,3
Dicembre	6,6	5,8	5,4	5	5	7,7	7,3	4,6

MESE	GIORNO							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Gennaio	3,8	4,5	4,4	4,1	3	3,3	0,7	1
Febbraio	10,3	9	6,5	7,6	7	8	7,5	6,9
Marzo	8,3	8,7	9,3	10	13,1	12,9	13	12,5
Aprile	10,6	9,5	10,3	11,6	13	13,6	12,7	11,9
Maggio	13,8	13,8	14,7	16,9	18,3	18,4	19,9	22,4
Giugno	16,3	21,2	22	22,5	24,2	26	27	27,6
Luglio	26,1	26,1	25,5	27	21,2	19,9	18,4	19
Agosto	27,6	26,8	23,4	18,7	19,9	21,2	23,3	22,4
Settembre	23,2	21,4	21,6	19,5	19,2	18,3	19,5	16,6
Ottobre	14,1	13,8	15	14,3	13,9	14	15	16,3
Novembre	6,3	6,7	6,3	8	10,4	10,4	7,1	6,9
Dicembre	3	1,3	0,6	1,5	0,5	-1,2	-0,6	0,3

Tab.006 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano, parte II

MESE	GIORNO							
	17	18	19	20	21	22	23	24
Gennaio	1,3	0,2	1,4	3,7	5,9	3,3	3,2	3,6
Febbraio	7,5	7,3	6,7	9	8	5,6	5	5,8
Marzo	9,7	11,4	14,1	13,9	12,6	15,9	16,2	14,8
Aprile	9,6	9,4	14,1	19	20,2	21	19,4	15,2
Maggio	22,6	20,4	19,2	19,9	19,9	20,6	17,8	18,8
Giugno	27,6	28,5	28,7	28,4	28,4	29,4	30,2	29,2
Luglio	22,3	22,3	21,9	24,8	24,2	25,6	25	26
Agosto	21,8	23,3	24,4	22,4	22,8	22,8	23	23,9
Settembre	19,2	19,6	19,7	20,9	21,3	21,6	22	19,6
Ottobre	17,7	16	14,4	12,8	11,4	11,9	14,5	14,1
Novembre	6,5	6	7,1	5,8	3,6	4,5	7	5,6
Dicembre	0,5	0,2	0,7	1,8	1,4	1,9	3,2	1,3

MESE	GIORNO						
	25	26	27	28	29	30	31
Gennaio	5,2	6,6	8,2	4,6	4,1	3,4	4,6
Febbraio	7,6	7,4	9,2	9,2			
Marzo	15,4	14,3	13,6	8,4	8,9	8,7	13,1
Aprile	17,1	17,8	17,9	15,1	15,3	18,1	
Maggio	19,1	18,5	16,7	17,6	20,4	21,8	22,6
Giugno	24,5	23,4	24,7	24,1	22,4	21,8	
Luglio	23,9	22,7	23,8	25,7	26,5	26,4	24,1
Agosto	23,9	23,8	21,9	23,8	19,7	21,2	22,5
Settembre	16,6	17,1	16,6	16,9	17,3	19,1	
Ottobre	12,5	15,7	14,1	16,1	13	12,4	13,7
Novembre	4,7	6	5	5,6	3,5	4,8	
Dicembre	2,1	2	5,3	3,9	1,9	5,3	5,7

In particolare negli ultimi dieci anni sono stati registrati i seguenti eventi eccezionali:

- nel 2003, alla fine di luglio, in concomitanza dell'anticiclone sub-tropicale, sono stati raggiunti i 43°C;
- nel gennaio e nel dicembre 2009, a causa all'effetto albedo e all'inversione termica, sono state registrate temperature tra i -12°C e i -14°C.

I valori medi mensili della temperatura giornaliera dell'aria esterna sono riportati all'interno della Norma UNI 10349 (Riscaldamento e raffrescamento degli edifici, Dati climatici), precisamente nel prospetto VI al n. 49 (Milano).

Inoltre, sono riportati i dati statistici forniti dall'ISTAT, basati su rilevazioni più recenti rispetto a quelli della norma UNI del 1994, e che forniscono anche i valori dei picchi massimi e minimi raggiunti dalla temperatura esterna; tali valori sono utili al fine di valutare le sollecitazioni subite dall'edificio di progetto.

Tab.007 Valori medi mensili delle temperature dell'aria esterna a Milano

MESE	ISTAT			UNI
	Medie [°C]	Massime [°C]	Minime [°C]	Medie [°C]
Gennaio	4,5	7,4	-0,2	1,7
Febbraio	6,6	10,5	0,6	4,2
Marzo	10,3	15,7	4,6	9,2
Aprile	13,9	19,3	8,4	14
Maggio	19,2	25	13,4	17,9
Giugno	23,8	29,6	18	22,5
Luglio	25,4	31,2	19,6	25,1
Agosto	24,7	30,4	19	24,1
Settembre	20,1	25,5	14,7	20,4
Ottobre	15,3	19,7	10,9	14
Novembre	9,4	12,9	5,7	7,9
Dicembre	4,9	7,6	0,4	3,1



La stessa norma UNI 10349 riporta anche metodi di correzione dei valori forniti, in base alle condizioni al contorno del progetto, che possono essere differenti da quelle standard assunte dalla norma: come nel caso di variazioni di quote altimetriche:

*“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 provincia 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*

$$\Theta_o = \Theta_{or} - (z - z_r) \delta$$

Dove:

$\Theta_{or}$  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;

$\delta$  è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetto II, in funzione della zona geografica.”

La temperatura media mensile è quella maggiormente utilizzata in sede di calcolo, come ad esempio nel caso del dimensionamento dei componenti impiantistici.

Si è scelto in questo caso di utilizzare come fonte l’ISTAT che risulta più aggiornata nei confronti delle variazioni climatiche degli ultimi anni (2001-2009): l’aumento medio di temperatura varia tra i 2,8°C e gli 0,3°C, con l’eccezione del mese di Aprile, in cui la temperatura scende di 0,1°C.

Tab.008 Prospetto II, UNI 10349

ZONA GEOGRAFICA	$\delta$ (°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 valutare l’andamento della temperatura nel corso degli anni, si considerano le temperature medie annuali.

Analizzando i valori riscontrati nel periodo 2000/2009, si osserva che, su base annuale, la temperatura media ha un andamento quasi costante nel tempo; mentre, nelle statistiche mensili, le differenze misurabili nel corso degli anni risultano più marcate.

Tab.009 Parametri climatici medi annuali

ANNO	T	$\sigma_T$	$T_M$	$\sigma_{TM}$	$T_m$	$\sigma_{Tm}$	PP	$\sigma_{PP}$	E	$\sigma_E$
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

Pertanto, i valori medi e quelli massimi riscontrati nell'arco di tempo considerato, sono i seguenti:

Tab.010 Valori medi e massimi delle grandezze annuali considerate

$T_{MED}$	$\sigma_{T-MED}$	$T_{M-MED}$	$\sigma_{TM-MED}$	$T_{m-MED}$	$\sigma_{Tm-MED}$	$PP_{MED}$	$\sigma_{PP-MED}$	$E_{MED}$	$\sigma_{E-MED}$
13,52	0,97	18,27	1,17	8,77	0,77	884,4	-12,97	8,41	0,4
$T_{MAX}$	$\sigma_{T-MAX}$	$T_{M-MAX}$	$\sigma_{TM-MAX}$	$T_{m-MAX}$	$\sigma_{Tm-MAX}$	$PP_{MAX}$	$\sigma_{PP-MAX}$	$E_{MAX}$	$\sigma_{E-MAX}$
14,15	1,6	19,1	2	9,2	1,2	1722	69,4	10,2	1,1

Dove:

- $T$  [°C] è la media annua della temperatura media della provincia;
- $\sigma_T$  [°C] è lo scarto quadratico medio della temperatura media annua;
- $T_M$  [°C] è la media annua delle temperature massime;
- $\sigma_{TM}$  [°C] è lo scarto quadratico della media annua delle temperatura massime;
- $T_m$  [°C] è la media annua delle temperature minime;
- $\sigma_{Tm}$  [°C] è lo scarto quadratico della media annua delle temperature minime;
- $PP$  [mm] è la media annua delle precipitazioni totali nella provincia;
- $\sigma_{PP}$  [mm] è lo scarto quadratico della media annua delle precipitazioni totali;
- $E$  [°C] è l'escursione termica media annua della temperatura;
- $\sigma_E$  [°C] è lo scarto quadratico dell'escursione termica media annua.

Come da DPR del 26 Agosto 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 definito il valore dei gradi giorno: ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura degli ambienti interni, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna.

Da questa valutazione sono derivate le prescrizioni riguardo il periodo di riscaldamento e il numero massimo di ore di funzionamento degli impianti.

Tab.011 Valori medi e massimi delle grandezze annuali considerate

LOCALITÀ	ZONA CLIMATICA	GG	PERIODO	DURATA
Milano	E	2404	15 Ottobre - 15 Aprile	14 h (max)

Di seguito si riporta la mappa climatica italiana, estrapolata dal DLGS del 29 Dicembre 2006 n.311, che mostra la suddivisione in province del territorio italiano con indicazione delle zone climatiche in funzione dei gradi giorno.



Fig.124 Mappa climatica italiana, DLGS 311 del 29/12/2006

Il decreto n. 412 del 1993, inoltre, suddivide gli edifici per categorie in base alla destinazione d'uso, al fine di associare ad ognuna di esse specifici limiti in termini di temperatura degli ambienti interni e di caratteristiche degli impianti.

L'Art. 3 (Classificazione generale degli edifici per categorie) stabilisce che gli edifici siano classificati in base alla 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.7 edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- E.8 edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

### 1.4.3 RADIAZIONE SOLARE

L'energia irradiata dal sole, emessa, trasportata e ricevuta in forma di onde elettromagnetiche, deriva dai processi di fusione termo-nucleare dell'idrogeno al suo interno.

L'energia solare si propaga omogeneamente nello spazio fino ad investire la terra, in particolare la fascia esterna della atmosfera terrestre.

La potenza irradiata complessivamente dal sole è pari ad oltre 60.000 kW/m<sup>2</sup>: essa decresce all'aumentare della distanza dalla sorgente e, dopo aver percorso i circa 150 milioni di km che separano la terra dal sole, assume un valore di poco superiore ad 1,35 kW/m<sup>2</sup>.

Tale valore prende il nome di costante solare, posta pari a 1,367 kW/m<sup>2</sup> (valore medio di riferimento).

Sulla superficie terrestre si registra un valore di potenza inferiore rispetto alla costante solare, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nell'atmosfera.

Sia nelle normative di riferimento che nella pratica impiantistica, il valore massimo della radiazione disponibile istantaneamente al suolo è assunto pari a circa 1 kW/m<sup>2</sup>.

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 con differenti angolazioni.

Una superficie inclinata può ricevere, inoltre, la radiazione riflessa dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici, come le pareti di edifici adiacenti; tale contributo si chiama albedo e deve essere valutato con attenzione.

Dette  $I_D$  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:

$$I_{TOT} = I_D + I_S + R$$

L'inclinazione e l'orientamento della superficie sono fattori importanti: una superficie orizzontale riceve la massima radiazione diffusa e la minima riflessa; la componente riflessa aumenta al crescere dell'inclinazione.

L'irradiazione è definita come il rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie colpita; i principali valori sono:

- irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale H [MJ/m<sup>2</sup>];
- irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale riportata come H<sub>bh</sub> [MJ/m<sup>2</sup>];
- irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale, ovvero H<sub>dh</sub> [MJ/m<sup>2</sup>].

Per ottenere il valore dell'irradiazione in una generica località, si utilizza:

$$H = H_{r1} + (H_{r2} - H_{r1}) / (\phi_{r2} - \phi_{r1}) * (\phi - \phi_{r1})$$

Dove:

H<sub>r1</sub> è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;

H<sub>r2</sub> è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;

φ è la latitudine della località considerata;

φ<sub>r1</sub> è la latitudine della prima località di riferimento;

φ<sub>r2</sub> è la latitudine della seconda località di riferimento.

I valori dell'irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale, per i capoluoghi di provincia, sono riportati nel Prospetto VIII della norma UNI 10349, suddivisi nelle componenti diretta (H<sub>bh</sub>) e diffusa (H<sub>dh</sub>) in MJ/m<sup>2</sup>.

Si osserva come i valori di irradiazione siano minimi a Dicembre e massimi nei mesi più caldi di Giugno e Luglio, questi mesi sono infatti quelli con temperature dell'aria più alte: la temperatura è influenzata dal livello di radiazione solare; in particolare, le superfici, se colpite dai raggi solari, assorbono calore, rilasciandolo poi nell'ambiente, aumentando la temperatura dell'aria.

A Milano la scarsa presenza di vegetazione provoca un effetto isola di calore, da cui ne consegue che nel centro urbano la temperatura sia maggiore rispetto a quelli limitrofi nonostante la localizzazione o l'altitudine siano simili.

Tab.012 Prospetto VIII, UNI 10349

MESE	IRRADIAZIONE SUL PIANO ORIZZONTALE		
	Diretta H <sub>bh</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	Diffusa H <sub>dh</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	Totale H [MJ/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	1,5	2,3	3,8
Febbraio	3,2	3,5	6,7
Marzo	5,6	5,1	10,7
Aprile	9,8	6,7	16,5
Maggio	12,1	7,9	20
Giugno	13,9	8,3	22,2
Luglio	16,5	7,5	24
Agosto	12,5	6,9	19,4
Settembre	8,4	5,6	14
Ottobre	4,5	3,9	8,4
Novembre	1,9	2,5	4,4
Dicembre	1,3	2	3,3

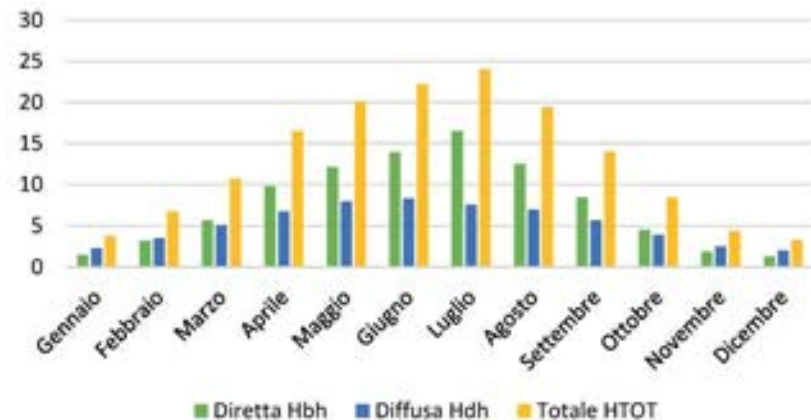


Fig.125 Distribuzione annuale dell'irradiazione media mensile



Sempre all'interno della Norma UNI 10349 sono riportati, nei prospetti IX, X, XI, XII e XIII, suddivisi per orientamento delle superfici e per mese dell'anno, i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile su superficie verticale.

Tab.013 Irradiazione solare giornaliera media mensile, UNI 10349

MESE	IRRADIAZIONE SU SUPERFICIE VERTICALE [MJ/m <sup>2</sup> ]				
	S	SE - SO	E - O	NE - NO	N
Gennaio	6	4,8	2,9	1,6	1,5
Febbraio	8,7	7,3	5,1	2,9	2,4
Marzo	11,2	10,6	8,5	5,3	3,7
Aprile	10,9	12,1	11,4	8,2	5,4
Maggio	10	12,3	13,2	10,7	7,8
Giugno	9,8	12,5	14,4	12,2	9,4
Luglio	10,8	14	15,8	12,8	9,2
Agosto	11,3	13,3	13,2	9,8	6,4
Settembre	11,8	11,8	10,1	6,5	4,2
Ottobre	10,3	8,9	6,4	3,6	2,8
Novembre	6,7	5,4	3,4	1,9	1,7
Dicembre	5,4	4,3	2,6	1,4	1,3

I valori massimi di irradiazione non si verificano sempre per lo stesso orientamento, ma variano nel corso dell'anno: da ottobre a marzo, l'irradiazione è massima per le superfici verticali orientate a sud; mentre durante maggio, giugno e luglio, l'irradiazione è massima per le superfici orientate verso est ed ovest; infine, le superfici esposte a nord ricevono un'irradiazione solare globale giornaliera inferiore a tutte le altre, nel corso di tutto l'anno.

In particolare, le superfici più sollecitate in assoluto dalla radiazione solare sono quelle ad est e a ovest, seguite da quelle a sud.

Di questo si tiene conto nel riguardo delle scelte progettuali, sia dal punto di vista delle aperture e delle protezioni, che della disposizione interna e dei colori dei prospetti.

Infine, si riporta la distribuzione dell'irradianza massima estiva durante le ore del giorno, utile in funzione della scelta dell'orientamento dei locali nel progetto e della valutazione sui sistemi di ombreggiamento adottabili.

Opportune strategie in questo frangente contribuiscono a mantenere una temperatura dell'aria interna sufficientemente bassa da garantire un buon livello di comfort e un carico di raffrescamento inferiore per gli impianti.

Per calcolare l'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale, ad una determinata ora del giorno, è necessario conoscere la latitudine della località in esame, per poi interpolare linearmente i valori relativi alle latitudini tabulate nella norma UNI 10349.

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;
- 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 relativi all'irradianza solare massima;
- dell'angolo di altezza solare ed azimutale massimi estivi.

Per calcolare i valori dell'irradianza a Milano, sono utilizzati i valori stabiliti per le latitudini 46° e 44°, interpolandoli mediante la formula:

$$I_T(\phi_{\text{Milano}}) = I_T(\phi_{r1}) + (I_T(\phi_{r2}) - I_T(\phi_{r1})) / (\phi_{r2} - \phi_{r1}) * (\phi_{\text{Milano}} - \phi_{r1})$$

Dove:

- $I_T$  è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T;
- $\phi$  è la latitudine della località in esame;
- $\phi_{r1}$  è la latitudine riportata nel Prospetto XVII immediatamente superiore a quella della località di progetto;

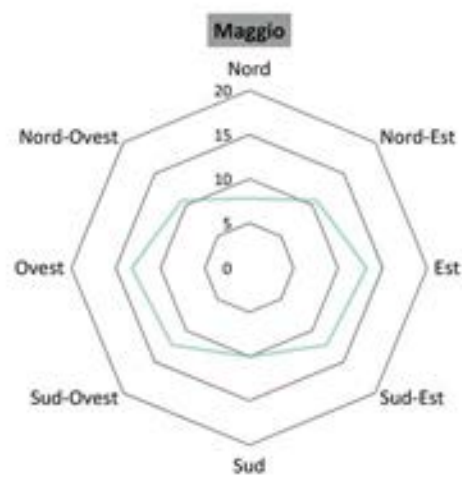
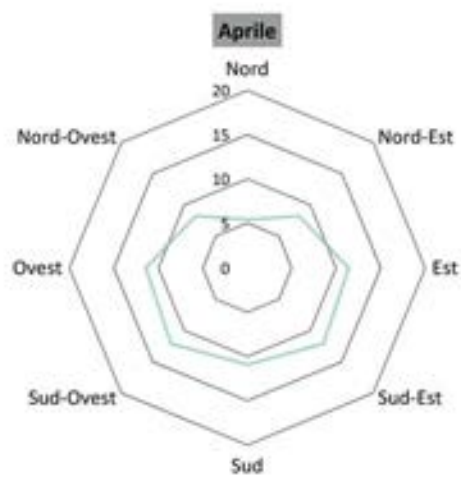
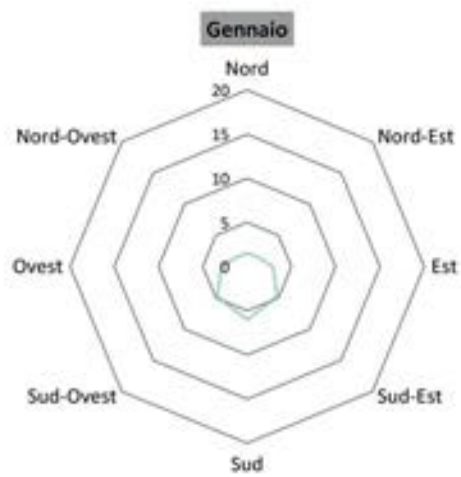


Fig.126 Irradiazione media mensile su superficie verticale, parte I

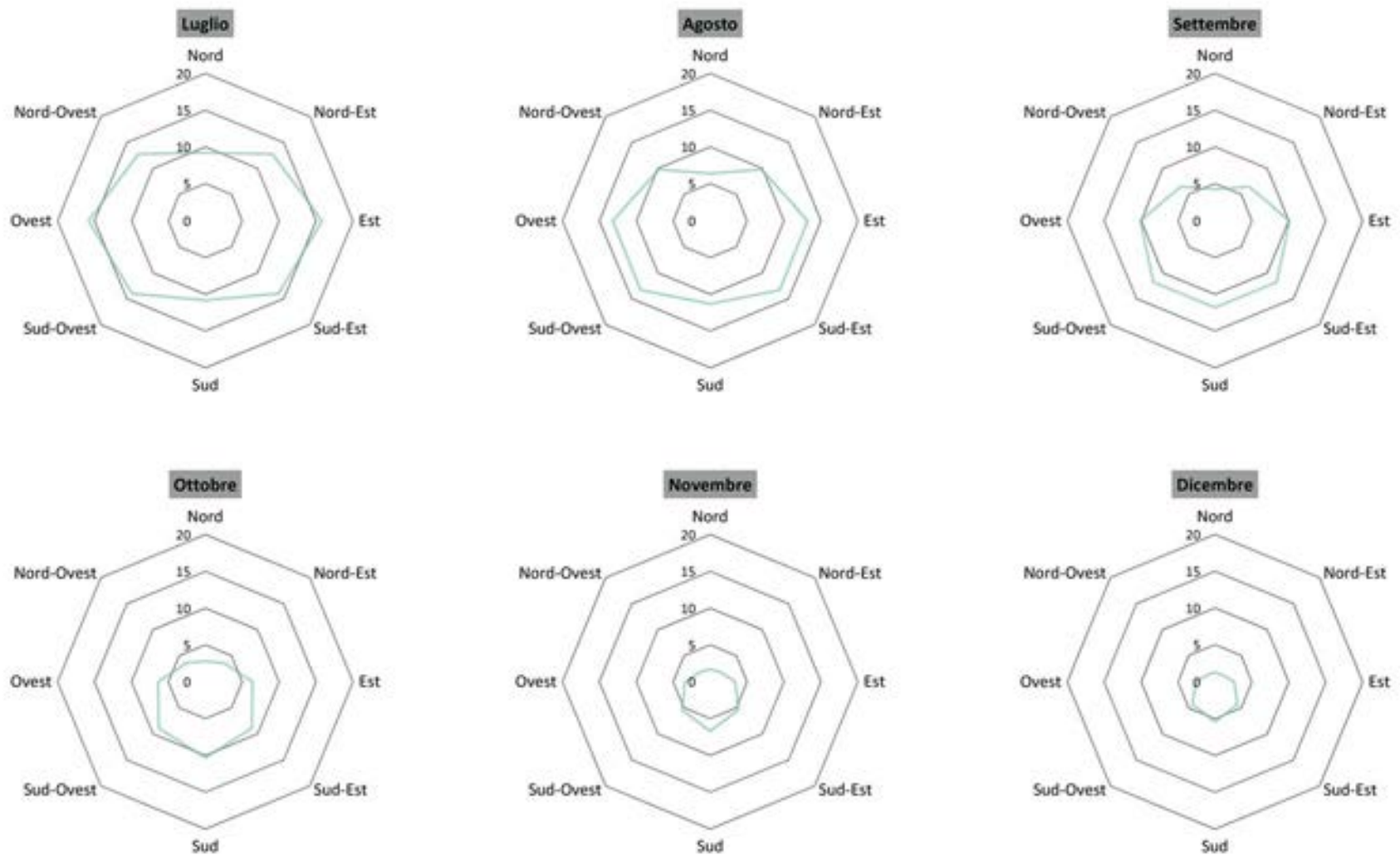


Fig.127 Irradiazione media mensile su superficie verticale, parte II

- $I_T(\phi_{r1})$  è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal Prospetto XVII per la latitudine  $\phi_{r1}$ ;
- $\phi_{r2}$  è la latitudine riportata in Prospetto XVII immediatamente inferiore a quella della località di progetto;
- $I_T(\phi_{r2})$  è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal Prospetto XVII per la latitudine  $\phi_{r2}$ .

Si riportano pertanto i valori, espressi in  $W/m^2$ , ottenuti considerando la posizione geografica di Milano.

Tab.014 Irradianza solare massima estiva, UNI 10349

ORA	IRRADIANZA ALLA LATITUDINE DI MILANO [ $W/M^2$ ]								$I_{diff}$	$I_{hor}$
	S	SE	E	NE	N	NO	O	SO		
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

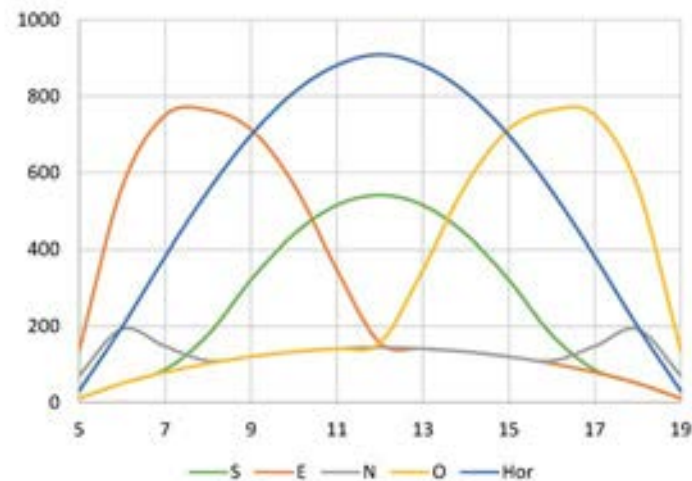


Fig.128 Irradianza solare massima estiva su superfici diversamente orientate, parte I

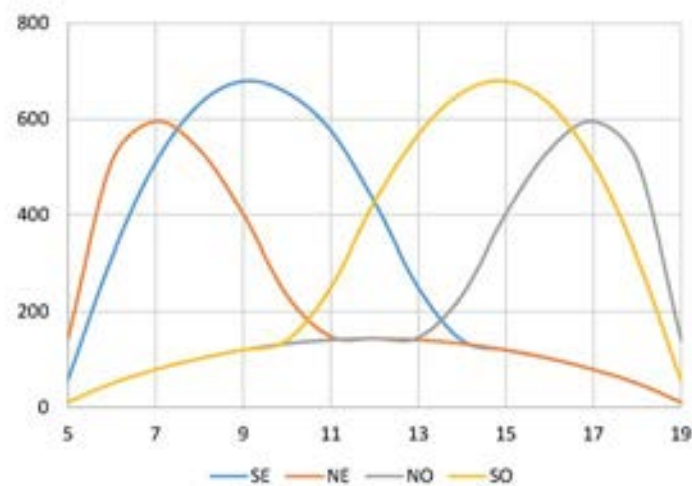


Fig.129 Irradianza solare massima estiva su superfici diversamente orientate, parte II



Infine nei Prospetti XIX e XX della stessa norma, si leggono 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.

Poichè la latitudine di Milano è  $45^{\circ}28'38''$ , cioè quasi  $46^{\circ}$ , si riportano soltanto i valori esplicitati dalla norma per tale valore.

Tab.015 Prospetto XIX, UNI 10349

ORA	ANGOLO DI INCIDENZA DELL'IRRADIANZA SOLARE MASSIMA								
	S	SE	E	NE	N	NO	O	SO	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°

Si riportano i grafici che rappresentano tali valori per superfici verticali ed orizzontali; si può notare come la facciate a est e ad ovest abbiano valori uguali ma opposti a livello di orari durante la giornata. Nel caso delle direzioni nord e sud, invece, la distribuzione risulta simmetrica ma con picchi nei momenti opposti.

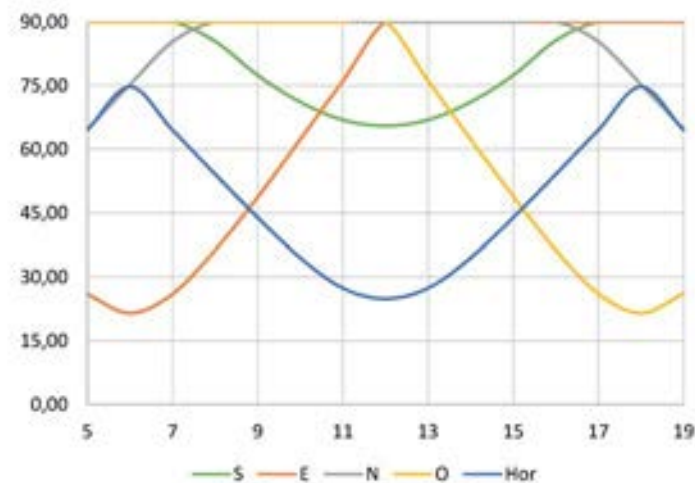


Fig.130 Angoli d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva

Sono inoltre esposti gli angoli di altezza solare ed azimutale massimi estivi per la latitudine di  $46^{\circ}$ .

Tab.016 Prospetto XX, UNI 10349

MESE	ANGOLI SOLARI MASSIMI ESTIVI	
	Altitudine	Azimut
5	5,5°	115,5°
6	15,3°	105,3°
7	25,5°	95,2°
8	35,9°	84,3°
9	46,1°	71,6°
10	55,4°	55,1°
11	62,6°	31,5°
12	65,5°	0°

### 1.4.4 IL VENTO

I venti insistenti sul territorio di Milano vengono descritti attraverso parametri di direzione e velocità: la direzione del vento viene espressa in gradi sessagesimali, attraverso i quali si indica l'ampiezza dell'angolo rispetto alla direzione nord.

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.

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.

Tab.017 Venti mensili dominanti

MESE	VENTI	
	Direzione	Velocità [m/s]
Gennaio	SO	3,1
Febbraio	SO	3,2
Marzo	E	3,3
Aprile	E	3,3
Maggio	SO	3,1
Giugno	SO	3,1
Luglio	SO	3
Agosto	SO	2,9
Settembre	E	2,9
Ottobre	E	3
Novembre	SO	3
Dicembre	SO	3

I dati utilizzati sono quelli rilevati dalla stazione meteorologica di Milano Linate, stazione di riferimento per il Servizio Meteorologico dell'aeronautica Militare e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, relativa alla città di Milano. Questi stessi dati sono i più utilizzati dai principali software di calcolo a regime dinamico.

Il vento presenta una velocità media annua di 3,1 m/s, con minimi di 2,9 m/s ad agosto e a settembre, e massimi di 3,3 m/s a marzo e ad aprile; le direzioni prevalenti sono di libeccio da novembre a febbraio e da maggio ad agosto, mentre a marzo, ad aprile, a settembre e ad ottobre predomina il levante.

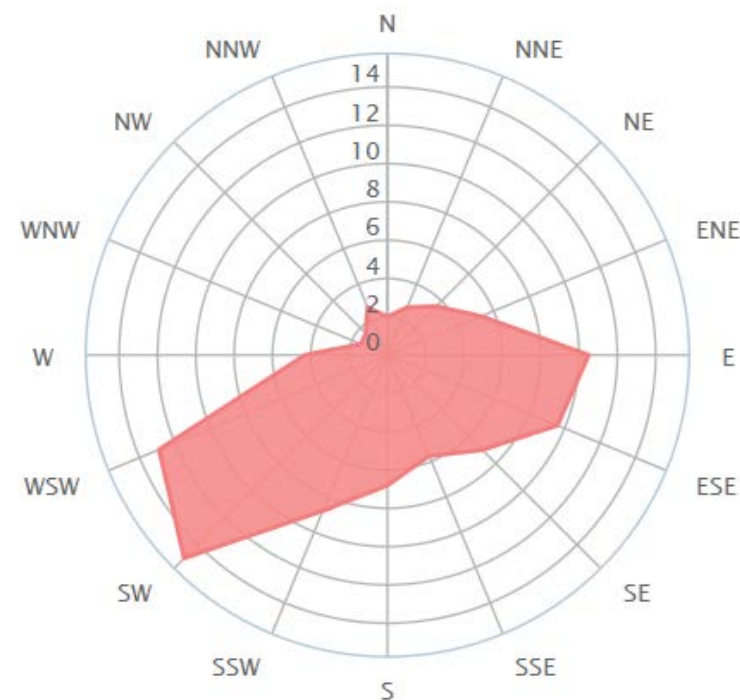


Fig.131 Rosa dei venti, valori medi annuali

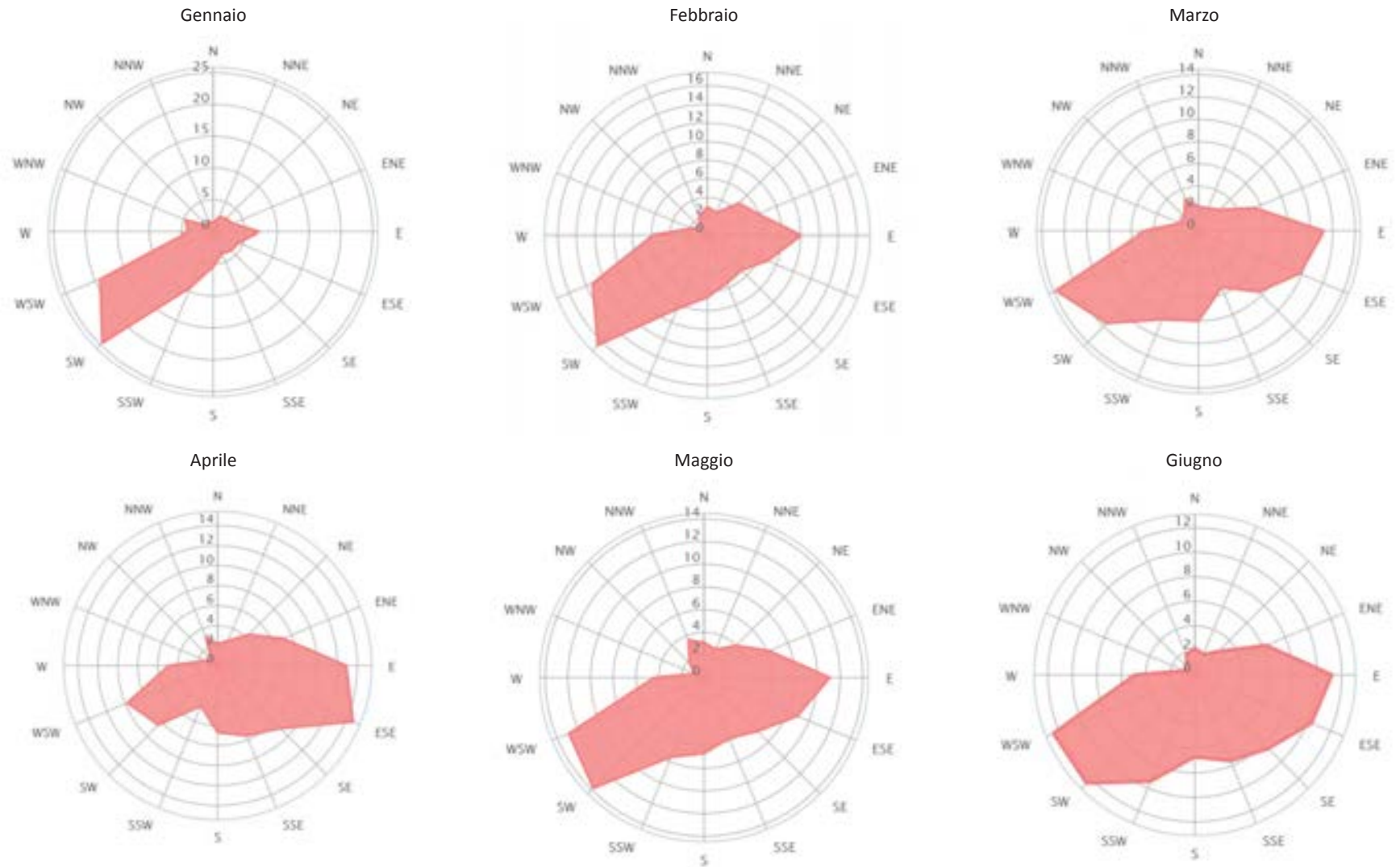


Fig.132 Rose dei venti, valori medi mensili, parte I

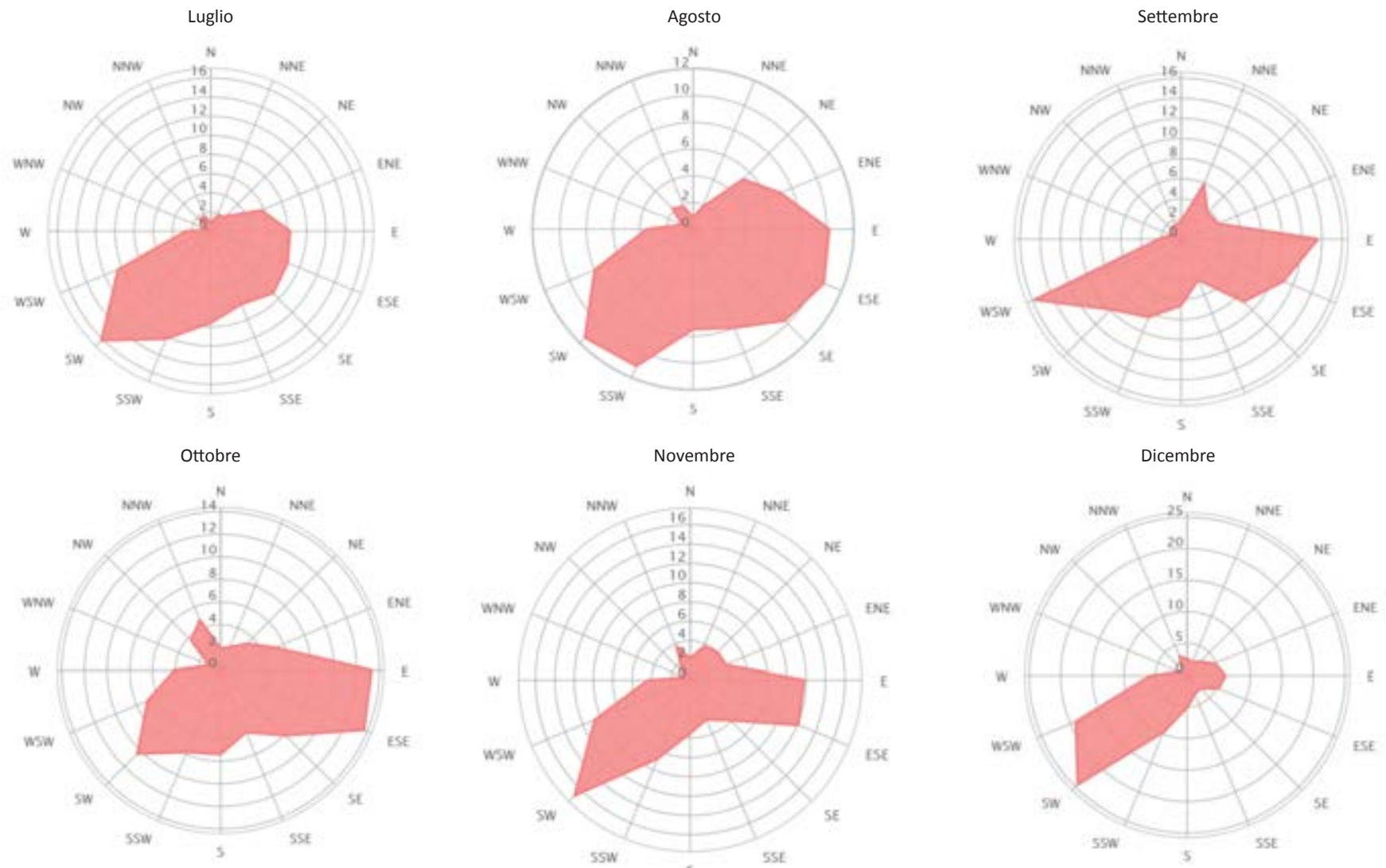


Fig.133 Rose dei venti, valori medi mensili, parte II



### 1.4.5 PRECIPITAZIONI

Anche in questo caso la norma Uni 10349 non è di aiuto relativamente all'ottenimento di dati sulla distribuzione e sull'intensità degli eventi meteorici in Italia; tuttavia, in un'ottica di progettazione eco-sostenibile, è importante considerare tutte le variabili esterne che costituiscono le principali sollecitazioni subite o sfruttate dal sistema edificio.

Analizzando i dati d'archivio dell'ISTAT è stato possibile definire un quadro generale delle precipitazioni registrate a Milano dal 2000 al 2009.

Tab.018 Valori medi stagionali delle precipitazioni a Milano, fonte ISTAT

MEDIA ANNUALE	MEDIE MENSILI STAGIONALI			
	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
884,15 mm	26,4 mm	47,5 mm	49,2 mm	53,4 mm

Tab.019 Valori medi mensili delle precipitazioni a Milano, fonte ISTAT

MESE	PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI	
	Precipitazioni [mm]	Giorni con idrometeorora [gg]
Gennaio	27,1	6
Febbraio	22,4	6
Marzo	29,6	6
Aprile	54,1	8
Maggio	56,2	8
Giugno	32,3	7
Luglio	41,2	-
Agosto	57,7	-
Settembre	48,7	-
Ottobre	49	8
Novembre	88,3	14
Dicembre	22,9	5

Al fine di un corretto dimensionamento degli elementi di drenaggio e di recupero delle acque piovane è più corretto valutare l'intensità degli eventi critici, la loro durata e l'altezza di pioggia nei giorni con maggior idrometeorora, nonché le durate dei periodi di siccità.

Il seguente grafico è relativo alle quantità di precipitazioni rilevate mensilmente nell'anno 2010 e deriva dai rilevamenti dell'osservatorio di Milano forniti dal sito ufficiale.

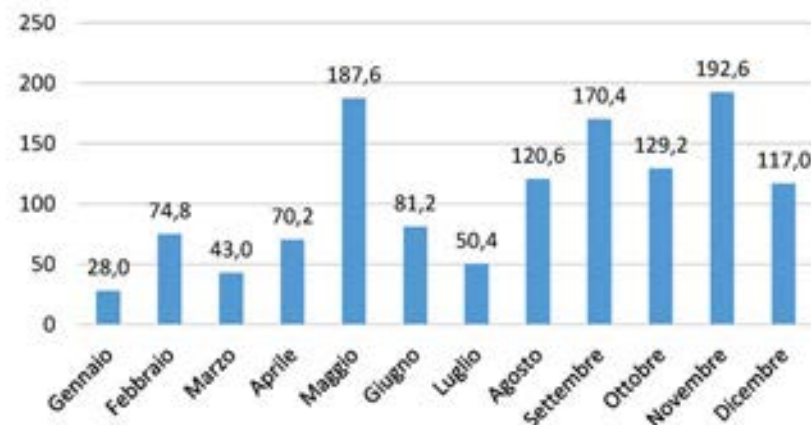


Fig.134 Precipitazioni mensili, dati del 2010

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 chilometri della stazione di rilevamento.

Recentemente si osserva una progressiva intensificazione dei fenomeni meteorici e ad una simultanea diminuzione della loro durata; per questo è importante, in sede di progettazione, perseguire il mantenimento di superfici dalla buona capacità filtrante, riducendo il carico idraulico sulle reti cittadine.

#### 1.4.6 UMIDITÀ RELATIVA

Il valore dell'umidità relativa nell'aria (U.R.) è correlato alla percezione di caldo o freddo dell'uomo di provare caldo o freddo.

In condizioni di umidità relativa superiore al 70%, si riduce la possibilità da parte del sudore emesso dal corpo umano di evaporare nell'ambiente (raffrescamento evaporativo), difatti impendendo il meccanismo naturale di regolazione della temperatura corporea e accentuando la sensazione di caldo.

Al contrario, in una situazione di umidità relativa inferiore al 20%, le membrane mucose del corpo si seccano, comportando una sensazione di freddo.

In generale, è possibile affermare che, in regime stazionario, un aumento di umidità relativa del 10 % ha lo stesso effetto di un aumento di temperatura di 0,3 °C.

Sono analizzati i valori medi mensili assunti da questo parametro dell'aria esterna: i dati sono forniti dai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano; la media ottenuta è basata sui valori degli ultimi 10 anni.

In generale, durante l'arco dell'anno vi sono delle variazioni dell'umidità relativa intorno al 20% con un leggera diminuzione nei mesi estivi.

I valori risultano sempre superiori agli standard di comfort secondo il modello stazionario di Fanger, si rende perciò necessario prevedere delle strategie attive o passive di deumidificazione dell'aria interna agli ambienti di progetto.

Tali strategie possono però non essere esclusivamente di tipo impiantistico: una buona distribuzione dei locali e delle aperture permetta una efficace ventilazione naturale, mantenendo le temperature interne ad un livello accettabile, senza l'aggiunta di strategie attive.

Nello sviluppo di questo progetto, in generale, si cercherà di agire a priori, cercando di trovare soluzioni il più possibile passive per questo tipo di problematiche, impiegando sistemi impiantistici solo dove strettamente necessario.

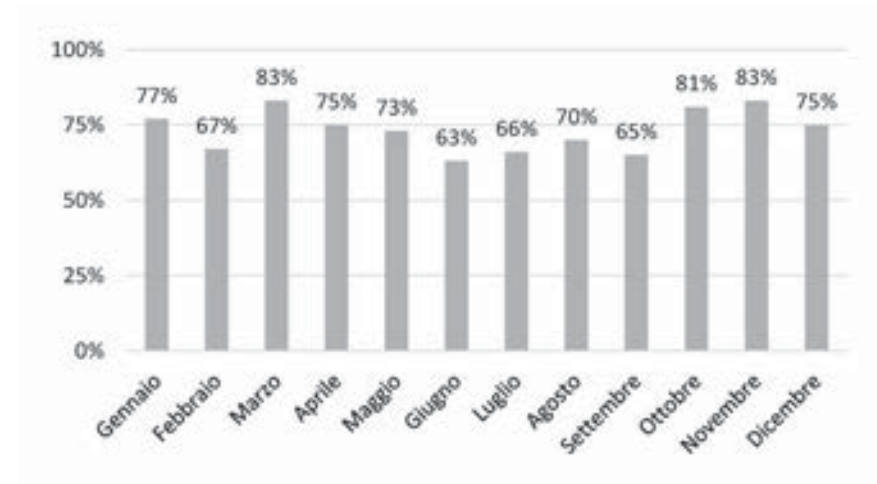


Fig.135 Valori medi mensili dell'umidità relativa a Milano

### 1.4.7 COMFORT IGROTHERMICO

La percezione del grado di comfort di un ambiente dipende da diversi parametri:

- fisici, quali la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, l'umidità relativa, la velocità dell'aria e la pressione atmosferica;
- esterni, quali l'attività svolta che influenza il metabolismo e l'abbigliamento;
- organici, come l'età, il sesso e le caratteristiche fisiche individuali;
- 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.

Al giorno d'oggi si considera come ad elevato grado di comfort un ambiente che risponda alle seguenti caratteristiche.

Tab.020 Limiti medi per condizioni igrotermiche ottimali

PARAMETRO	LIMITI ESTIVI		LIMITI INVERNALI	
	Minimo	Massimo	Minimo	Massimo
Temperatura dell'aria	24°C	26°C	18°C	20°C
Umidità relativa	30 %	60 %	30 %	50 %
Velocità dell'aria	0,10 m/s	0,20 m/s	0,05 m/s	0,10 m/s
Temperatura effettiva	20°C	22°C	16°C	18°C

Confrontando i valori di umidità relativa medi mensili con i parametri di comfort e, considerando che l'attività umana solitamente produce un aumento dell'umidità relativa di un ambiente, è necessario valutare delle strategie per il mantenimento degli standard di comfort a fronte del minimo utilizzo possibile di sistemi impiantistici.

Infatti, per alcuni locali, soprattutto quelli meno affollati, possono essere sufficienti strategie conservative di accumulo termico o basate su sistemi fisico-naturali, senza ricorrere ad elementi più complessi.

Una visione generale del comportamento igrotermico del clima milanese è osservabile mediante il disegno del diagramma di Olgay, rappresentato di seguito, che riporta le combinazioni orarie di temperature a bulbo secco [°C] e della corrispondente umidità relativa [%] rilevate nell'arco di un anno.

I dati si riferiscono ai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano e mediati negli ultimi 10 anni.

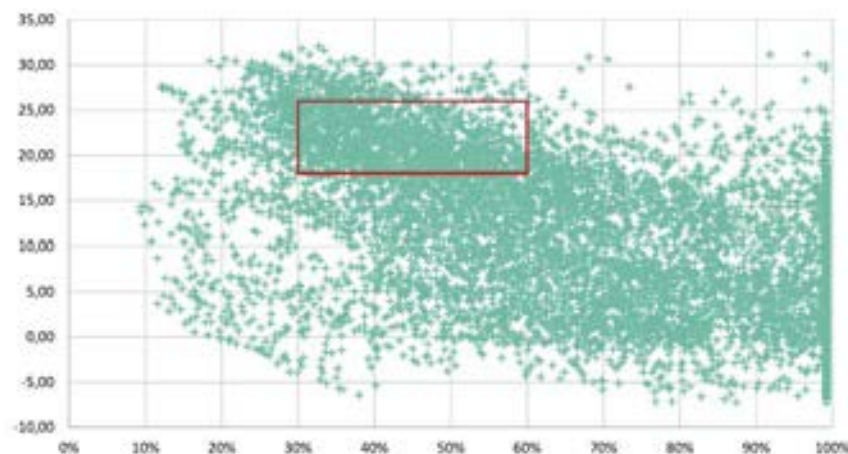


Fig.136 Diagramma di Olgay relativo all'ambiente di Milano



CAPITOLO 2 - PROGETTO  
ARCHITETTONICO



- 2.1 **VINCOLI URBANISTICI**
- 2.2 **EDILIZIA RESIDENZIALE A SCALA URBANA**
  - 2.2.1 RESIDENZE DI WANSEY STREET, LONDRA
  - 2.2.2 RESIDENZE IN RUE LOUIS BLANC, PARIGI
  - 2.2.3 RESIDENZE "THE MOUNTAIN", COPENAGHEN
  - 2.2.4 ASPETTI PROGETTUALI RICORRENTI
- 2.3 **CONCEPT ARCHITETTONICO**
  - 2.3.1 DIRITTO ALLA LUCE
  - 2.3.2 CARATTERI ARCHITETTONICI
  - 2.3.3 STRATEGIE ENERGETICHE
  - 2.3.4 APPROFONDIMENTO SULLE SERRE BIOCLIMATICHE
- 2.4 **PLANIVOLUMETRICO DI PROGETTO**
- 2.5 **LAYOUT DISTRIBUTIVO**
  - 2.5.1 FUNZIONI PUBBLICHE
  - 2.5.2 FUNZIONI RESIDENZIALI
  - 2.5.3 LE TIPOLOGIE RESIDENZIALI
- 2.6 **PROSPETTI ARCHITETTONICI**

## PREMESSA

Nel secondo capitolo si spiegano i vincoli urbanistici relativi al lotto di via Palermo, secondo quanto prescritto nel P.G.T. di Milano e dai Regolamenti Edilizio e Locale d'Igiene, da tenere in considerazione durante la fase progettuale.

Sono descritti i riferimenti progettuali di edilizia residenziale a scala urbana e le riflessioni che hanno portato a definire il concept di progetto.

Di seguito si presenta il progetto architettonico nella sua completezza.

La prima analisi riportata, riguarda il planivolumetrico di progetto, il quale mostra l'edificio rapportato con il costruito milanese.

Successivamente si illustra il layout distributivo del fabbricato, per poi passare alla spiegazione più dettagliata delle destinazioni d'uso con la descrizione degli ambienti.

Particolare attenzione è stata posta sulla composizione degli alloggi residenziali, individuando diversi tagli: dal monolocale alla tipologia ad attico, in quanto si è considerato di soddisfare differenti categorie d'utenza, che spaziano dalla persona disabile fino alla famiglia più numerosa.

Di pari passo con la progettazione planimetrica, sono stati studiati gli alzati, rispettando la concordanza con i caratteri architettonici del contesto e valutando le scelte materiche e cromatiche di conseguenza.

## 2.1 VINCOLI URBANISTICI

Il lotto di progetto è situato in via Palermo al numero civico 19; dalla lettura del Piano di Governo del Territorio del Comune di Milano si ricavano i vincoli urbanistici da rispettare in sede di progettazione:

- nell'Allegato 1 del Piano delle Regole l'intero quartiere è identificato come Nucleo di Antica Formazione, disciplinato dall'articolo 13 del PDR;
- nella tavola R\_All\_02\_2\_N-E il lotto rientra in zona di sensibilità paesaggistica molto alta, il che comporta restrizioni riguardo la tipologia edilizia a cortina e particolari attenzioni al disegno degli affacci su strada;
- in particolare, nella tavola R\_01\_Ambiti\_territoriali\_2D il sito è indicato come "Zona A di recupero" e "Zona B di recupero" numerazione V1.6 e classificato come F2 a fattibilità con modeste limitazioni (art. 20.6.A);
- infine nell'allegato 4 al PDR la Zona A di recupero V1.6 è inserita all'interno della Variante 12 del PRG del 1980.

Pertanto nella definizione dei vincoli edificatori si deve far riferimento alla suddetta Variante 12, in deroga agli strumenti urbanistici vigenti, come altresì specificato nell'articolo 34 del PDR.

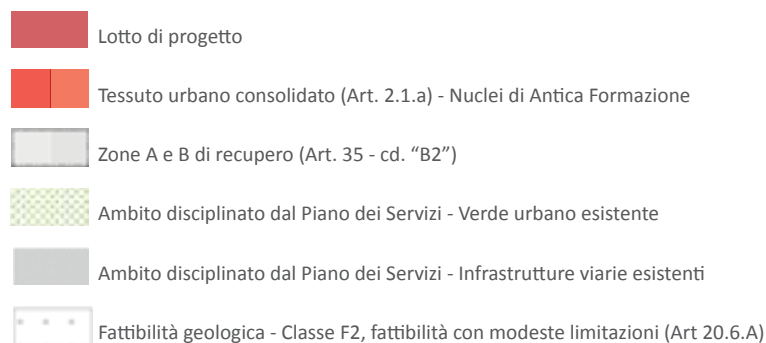


Fig.001 Estratto della tavola R.01/2D del PGT di Milano



Gli elaborati principali che costituiscono la Variante 12 sono la tavola delle Modalità d'Intervento e la tavola del Progetto Guida, di cui si riportano gli estratti. Da tali elaborati si desumono i principali vincoli costruttivi e la denominazione dell'Ambito di Intervento le cui prescrizioni si trovano nell'Allegato E alle NTA del 1980.






La variante interessa una porzione del tessuto urbano compresa: a nord tra le vie Pasubio e Crispi; ad est tra Piazza XXV Aprile, Corso Garibaldi, Via Marsala, via Moscova, via Statuto, via Palermo, Largo Treves e via Solferino; a sud tra le vie Pontaccio, 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 e via Volta.









Fig.002 Estratto della tavola delle modalità di intervento, variante 12 al PRG del 1980



Fig.003 Estratto della tavola del progetto guida, variante 12 al PRG del 1980

-  Lotto di progetto
-  Unità di intervento degli ambiti a pianificazione esecutiva: perimetro e relativa numerazione
-  Ambiti soggetti a permesso di costruire convenzionato, indicazione perimetro. Indici e prescrizioni nell'allegato E delle N.T.A.
-  Complessi edilizi con valore storico testimoniale
-  Immobili con elementi di valore ambientale

-  Mantenimento o completamento delle cortine edilizie
-  Ricostruzione o completamento della cortina edilizia
-  Attacco ai fronti ciechi
-  Numero massimo di piani fuori terra
-  Nuova costruzione - sostituzione edilizia: area pertinenziale ed eventuale specificazione del sedime degli edifici
-  Conservazione - valorizzazione dei caratteri storico - testimoniali e ambientali



Nell'Allegato 5 del Piano delle Regole, contenente le "Norme di Attuazione delle Zone A di Recupero e delle Zone B di Recupero del PRG del 1980 e relative varianti", all'Art 18-bis è definito che per le nuove costruzioni l'indice urbanistico di fabbricabilità  $I_f$  debba essere inferiore a  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

Inoltre tale documento rimanda alla lettura degli strumenti del PRG del 1980 per quanto concerne la conoscenza dei restanti indici urbanistici.

Come precedentemente riportato, secondo la tavola Modalità d'Intervento il lotto di progetto rientra nell'Ambito "PCc 2", di cui sono forniti indici urbanistici specifici e ulteriori indicazioni all'interno dell'Allegato E alle NTA del PRG 1980, di seguito enunciati.

Tab.001 Estratto dell'Allegato E delle NTA del PRG 1980, relativo al lotto di progetto

ZONA A - CS V1.6 - ZONA B R1.7 - INDICI URBANISTICI E ALTRE PRESCRIZIONI		
Modalità d'intervento	PCc	
Numero ambito	2	
Individuazione ambito	via Palermo, 19	
Tipologia	c (ambito di recupero o ricostruzione)	
Unità d'intervento	2	
Indici urbanistici	$I_t$ [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ]	N.D.
	$I_f$ [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ]	N.D.
	$S_{lp}$ massima [ $\text{m}^2$ ]	1300 + 230
Funzioni	In conformità all'azzonamento funzionale del PRG: R	
Indicazioni aggiuntive	Ricostruzione di un edificio demolito. Allineamento dei nuovi edifici lungo via Palermo. Edificio di $230 \text{ m}^2$ destinato ad attività di interesse collettivo per massimo 1 piano fuori terra.	

In tali documenti si rimarca la necessità di ricostruzione e completamento della cortina edilizia esistente e di sistemazione dei fronti relativamente al lotto di progetto.

È data inoltre la possibilità di costruire un massimo di 5 piani fuori terra nella parte del lotto adiacente a via Palermo, ed un solo piano fuori terra nella parte connotata da una  $S_{lp}$  pari a  $230 \text{ m}^2$ , destinati ad attività di interesse collettivo.

La superficie complessiva del lotto risulta pari a circa  $730 \text{ m}^2$ ; di seguito si riportano i valori dei parametri urbanistici desunti dai regolamenti vigenti.

L'Art. 76 del Regolamento Edilizio impone almeno il 10% di superficie filtrante come terreno non edificato, poiché il lotto rientra in zona di alta sensibilità paesaggistica; questo è garantito dal vincolo della corte interna di circa  $150 \text{ m}^2$ . La superficie filtrante deve essere sistemata a verde o comunque mediante soluzioni filtranti alternative che garantiscano pregio ambientale, come da Art. 12 del medesimo Regolamento.

L'Art. 4 del Piano delle Regole definisce i seguenti parametri urbanistici:

- $S_t$ , pari a circa  $730 \text{ m}^2$ , è la superficie territoriale e corrisponde alla superficie complessiva dell'area interessata dall'intervento sia diretto che subordinato a piano attuativo.
- $S_f$ , pari a circa  $580 \text{ m}^2$ , è la superficie fondiaria e corrisponde alla superficie edificabile.
- $I_f$ , posto pari a  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  dall'Allegato 5 al PDR, è l'indice fondiario e corrisponde alla volumetria massima edificabile per ogni  $\text{m}^2$  di Superficie fondiaria.
- $S.l.p.$ , posta pari a  $1.300 + 230 \text{ m}^2$  dalla Variante 12, è la superficie lorda complessiva di pavimento e corrisponde alla misura degli spazi agibili, rilevante ai fini della dotazione dei carichi urbanistici.
- $V$ , pari a circa  $4.950 \text{ m}^3$ , è il volume massimo edificabile, calcolato in base all'Art. 11 del Regolamento Edilizio, dove si legge che "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."
- $R_c$ , è il rapporto di copertura, misurato in percentuale, tra superficie coperta e superficie fondiaria e deve essere inferiore al 60% secondo l'art. 13 del PDR.

- $S_c$ , è la superficie coperta e corrisponde alla superficie risultante dalla proiezione sul piano orizzontale delle parti edificate fuori terra, delimitate dalle superfici esterne delle murature perimetrali, con esclusione delle parti aggettanti aperte, come balconi, sporti di gronda e simili.

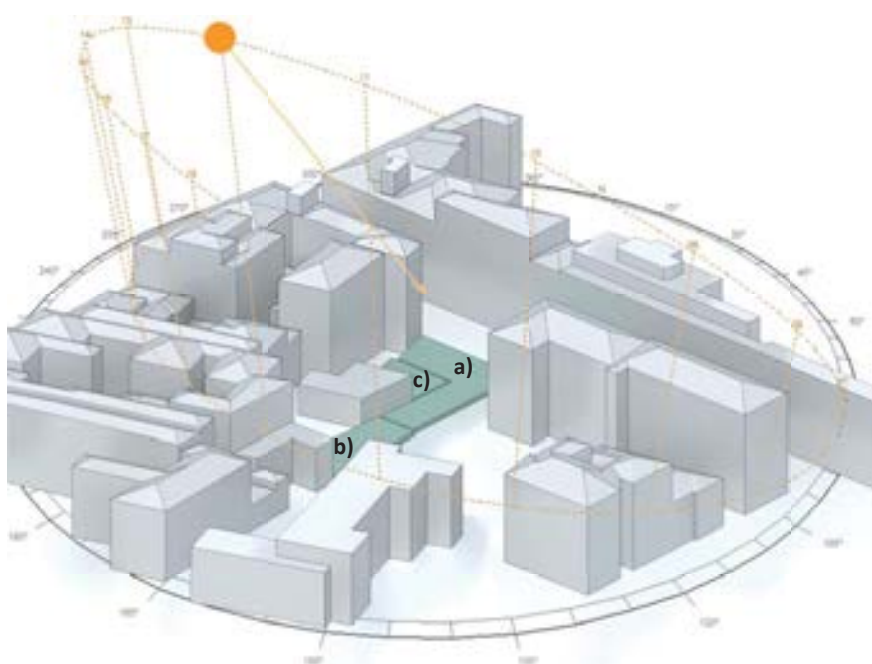


Fig.004 Suddivisione del lotto di progetto come da prescrizioni del Piano delle Regole

Il lotto è suddiviso in tre aree, per un totale di 730 m<sup>2</sup>:

- a) superficie di circa 365 m<sup>2</sup>, edificabile fino a cinque piani fuori terra;
- b) superficie di circa 215 m<sup>2</sup>, edificabile per un solo piano fuori terra;
- c) superficie di circa 150 m<sup>2</sup>, non edificabile per il mantenimento della tipologia edilizia a corte del contesto.

Ai fini della progettazione e della definizione degli spazi interni, si riporta quanto prescritto nell'Art. 4 del Piano delle Regole riguardo la definizione della S.I.p.; "non vengono conteggiati nella S.I.p.:

- gli spazi aperti quali porticati, logge, balconi, terrazzi, cavedi, piani pilotis, e gli androni di ingresso anche chiusi;
- gli spazi per attività comuni di pertinenza dell'intero edificio, nei limiti e secondo le fattispecie indicati nel Regolamento Edilizio, sempre che siano precisamente individuati in un atto d'asservimento, da trascriversi nei pubblici registri e che dovrà essere obbligatoriamente citato negli atti di compravendita;
- gli spazi privati utilizzabili dal pubblico quali passaggi pedonali e gallerie, assoggettati permanentemente al predetto uso mediante specifico atto di asservimento e fisicamente collegati allo spazio pubblico o aperto circostante;
- gli spazi di collegamento verticale: vani scala, ascensori e montacarichi al netto delle murature perimetrali, con i relativi pianerottoli di sbarco. Non rientrano invece tra le esclusioni, e quindi sono computate nella S.I.p. dei piani corrispondenti, le superfici delle scale interne a singole unità immobiliari non realizzate in vano proprio;
- gli spazi di collegamento e transito orizzontale comuni a più unità immobiliari catastalmente individuabili;
- i soppalchi limitatamente a quanto prescritto dal Regolamento Edilizio;
- gli spazi necessari ai fini del rispetto delle norme di sicurezza e prevenzione incendi a ciò specificamente dedicati, quali zone filtro e luoghi sicuri statici;
- gli spazi destinati alla sosta e al ricovero degli autoveicoli, realizzati sia in sottosuolo che in soprassuolo, compresi gli spazi di accesso e di manovra indipendentemente dal loro carattere pertinenziale;
- i vani sottotetto non aventi i requisiti di agibilità;
- i piani interrati e seminterrati con pavimento a quota pari o superiore di un metro sotto il piano di spiccato, di altezza interna inferiore a 2,60 m e del tutto privi dei requisiti di aeroilluminazione naturale o artificiale richiesti per la permanenza continua di persone in relazione alla destinazione d'uso. Il rispetto dei requisiti sopraindicati in locali non agibili esistenti comporta l'obbligo dell'inserimento delle relative superfici nel calcolo della S.I.p.;

- *le cantine poste a piano terreno aventi superficie inferiore a 8 m<sup>2</sup> cadauna e del tutto prive dei requisiti di aeroilluminazione naturale o artificiale richiesti per la permanenza continua di persone in relazione alla destinazione d'uso;*
- *le superfici relative ai volumi tecnici, cioè ai vani e agli spazi strettamente necessari a contenere le apparecchiature principali ed accessorie degli impianti tecnici al servizio dei fabbricati comprese le superfici dei vani di passaggio delle canalizzazioni calcolate in corrispondenza dei piani abitabili o agibili e le superfici dei relativi spazi di accesso;*
- *la realizzazione dei servizi di cui all'Art. 4 comma 7 delle Norme di attuazione del Piano dei Servizi non è computata nella S.I.p.;*
- *per i fabbricati con destinazione diversa da quella residenziale non vengono conteggiate nella S.I.p.: le superfici dei volumi tecnici e di quelle occupate da impianti di depurazione o da impianti tecnologici, le superfici coperte da pensiline o da tettoie aperte su tre/quattro lati, i silos e i serbatoi."*

È data inoltre la possibilità di realizzare fino a 2 livelli interrati in corrispondenza dell'impronta a terra dell'edificio per un'altezza massima di scavo pari a 9 m. Ulteriori vincoli per quanto riguarda tali piani sono esplicitati dall'Art. 88 del Regolamento Edilizio, in cui si specifica che i locali sotterranei non possono essere in alcun modo adibiti ad abitazione.

Tali spazi, inoltre, sono considerati agibili se:

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

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.

Come già enunciato, 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 può assumere l'edificio.

Di seguito si espongono i limiti da considerare nell'elaborazione del progetto.

Per quanto riguarda l'altezza massima costruibile, per la parte di lotto che affaccia lungo via Palermo, deve essere comunque rispettato il limite della quota di gronda della costruzione adiacente.

È consigliata l'integrazione con la cortina edilizia esistente, mantenendo la scansione delle facciate data dalla ripartizione verticale dei piani propria degli edifici adiacenti.

Il Regolamento Edilizio del Comune di Milano è in vigore dal 26 novembre 2014 e vi si fa riferimento, come prescritto nel Piano delle Regole, per le disposizioni riguardo l'ambito di trasformazione in cui ricade il lotto di progetto.

Nell'Art. 86, in riferimento alle distanze ed alle altezze dei fabbricati si legge che:

- *"negli interventi di nuova costruzione e in tutti i casi in cui si modifichi l'ingombro fisico dei fabbricati, la distanza degli edifici dal confine dei fondi contigui di altra proprietà non può essere inferiore 3 metri nei NAF e a 5 metri nei restanti ambiti, misurati dal filo della facciata o dai balconi aggettanti. Al di sotto di tale distanza le costruzioni sono ammesse a condizione che sia dimostrato l'assenso della proprietà confinante mediante atto registrato e trascritto, da produrre contestualmente alla presentazione del titolo, sempre ovviamente fatta salva la distanza minima inderogabile di 10 metri tra fronti finestrate.*

*La distanza minima dai confini di cui al presente comma è fissata in misura pari alla metà della distanza minima inderogabile mutuata dal*

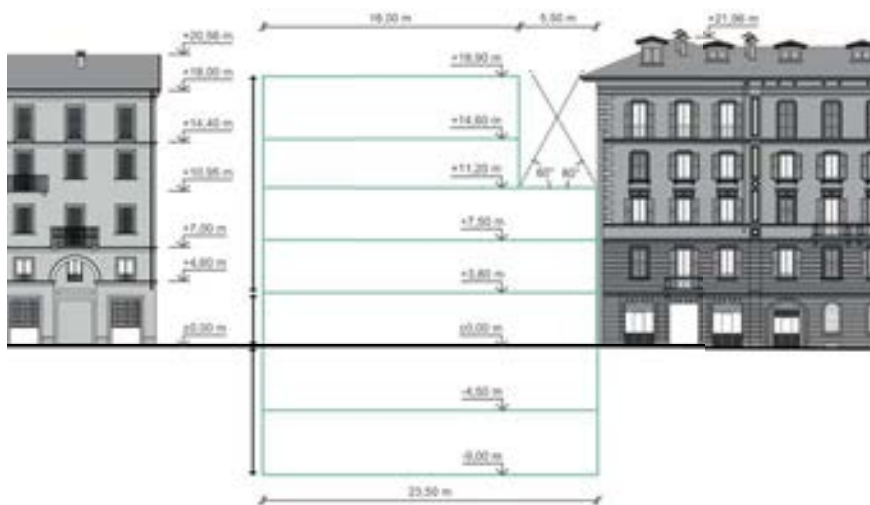


Fig.005 Resa grafica dei vincoli urbanistici al volume edificabile, fronte nord

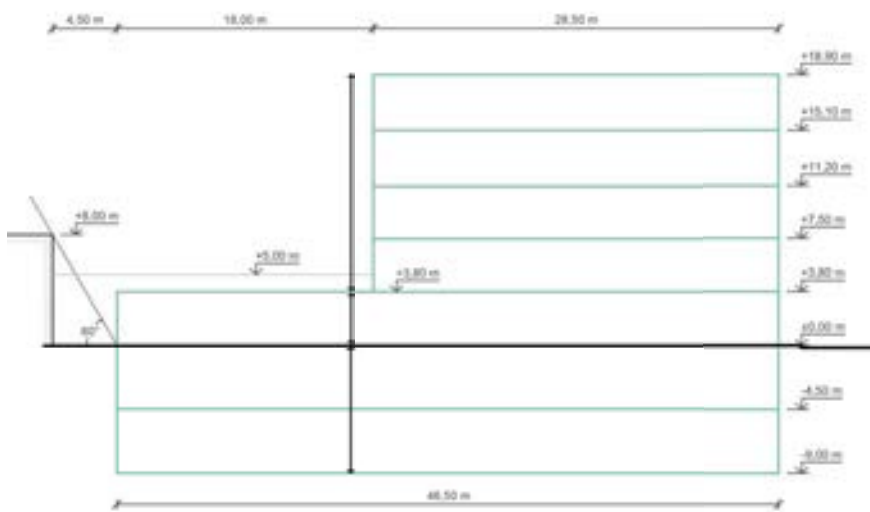


Fig.006 Resa grafica dei vincoli urbanistici al volume edificabile, fronte est

DM 1444/1968 e sarà pertanto da applicarsi sempre con tale rapporto conformemente ad eventuali sopraggiunte disposizioni normative sovra ordinate, derogatorie o sostitutive.

- La distanza minima dal confine di cui al punto che precede non si applica agli interventi di recupero abitativo dei sottotetti.
- Fatta eccezione per gli interventi edilizi realizzati nei N.A.F., negli interventi di nuova costruzione e in tutti i casi in cui si modifichi l'ingombro fisico dei fabbricati è sempre obbligatoria la distanza minima assoluta di almeno 10 metri tra pareti finestrate e pareti di edifici antistanti, fatte salve le deroghe previste dall'Art. 11 del D.Lgs. 115/2008; in presenza di balconi aggettanti si misura dal filo esterno degli stessi. Tale distanza si assume perpendicolarmente al fronte.
- Ferma restando la distanza minima assoluta di 10 metri nei casi di cui al precedente punto, in tutti i casi di nuova costruzione e in tutti i casi in cui si modifichi l'ingombro fisico dei fabbricati, gli interventi devono inoltre essere progettati in modo tale da garantire condizioni di soleggiamento adeguate dei fabbricati preesistenti.

**A questo fine, qualora i nuovi volumi in progetto siano antistanti ad un fronte finestrato esistente, indipendentemente dalla destinazione d'uso del locale frontistante, dovrà essere soddisfatta la seguente verifica grafica: una semiretta condotta sul piano perpendicolare alla facciata dell'edificio preesistente, in corrispondenza con l'asse della veduta posta nella posizione più bassa ed inclinata di 60° sul piano orizzontale del pavimento del locale in cui è ubicata la veduta, a partire dall'intersezione tra questo e la parete esterna del fabbricato, dovrà risultare esterna all'ingombro fisico dei nuovi volumi.** Tale verifica non si applica per la realizzazione di ascensori all'interno dei cortili così come definiti dall'Articolo 110, ma deve essere sempre rispettata la distanza minima assoluta di 10 metri dalle pareti finestrate.

La verifica deve essere soddisfatta anche per le aperture di diversi edifici compresi nei nuovi interventi, nonché per i nuovi edifici nei confronti degli esistenti, fatta salva in quest'ultima verifica la possibilità di conservare l'ingombro preesistente nel caso di demolizione e ricostruzione e la possibilità di soprizzo che non peggiori tale verifica nei confronti degli edifici circostanti.



- *I fabbricati prospicienti spazi pubblici devono soddisfare la condizione di cui al comma 4 qualora ciò non contrasti con il corretto inserimento dell'edificio con il costruito e con gli spazi pubblici circostanti. Tale ultima condizione si intende soddisfatta nel caso di interventi mantenuti nella sagoma preesistente.*
- *Le verifiche e i limiti di cui ai commi precedenti possono essere derogati qualora si proceda mediante piani e programmi attuativi, modalità diretta convenzionata ovvero strumenti di programmazione negoziata, solo in presenza di espressa diversa indicazione convenzionale e planivolumetrica.*
- *La distanza minima inderogabile richiamata nel presente articolo, e anche ove richiamata in altri articoli, è mutuata dal D.M. 1444/1968 e pertanto sarà da applicarsi conformemente ad eventuali sopraggiunte disposizioni normative sovra ordinate, derogatorie o sostitutive."*

In particolare sono rilevate adiacenze al lotto di edifici esistenti, pertanto in riferimento all'Art. 87 del suddetto Regolamento:

*"è ammessa l'edificazione in corrispondenza con la linea di confine di spazi privati di altra proprietà nel caso di nuove costruzioni, conformi a previsioni di strumenti di programmazione negoziata, piani urbanistici attuativi, progetti edilizi convenzionati per gli aspetti planivolumetrici."*

Dall'articolo si evince la possibilità di costruire a ridosso del volume interno al lotto, nonostante sia presente una finestra sul fronte est che deve essere opportunamente rimossa, non trattandosi di abitazioni. Al contrario non è possibile rimuovere il cancello a sud del lotto in quanto rientra nell'area di competenza della scuola materna.

Per quanto riguarda la distribuzione verticale, l'Art.89 prescrive che:

- *"le scale di uso comune sono disciplinate, quanto a larghezza, dimensioni e chiusure, dalla normativa nazionale e regionale vigente in materia di barriere architettoniche e di prevenzione incendi. Deve in ogni caso essere garantita la corretta fruibilità e la possibilità del trasporto di soccorso delle persone. Le rampe delle scale possono avere massimo 12 alzate consecutive negli interventi di nuova costruzione e 14 alzate consecutive negli interventi sul patrimonio edilizio esistente.*

- *All'interno delle singole unità immobiliari è consentita la realizzazione di scale a chiocciola o di altra tipologia che garantiscano comunque idonee caratteristiche di sicurezza e fruibilità. Quando tali scale sono l'unico accesso agli altri piani dell'unità immobiliare con presenza di locali agibili dovranno avere una larghezza della rampa di minimo 80 cm.*
- *Le scale che collegano più di due piani, compreso il piano terra, devono essere aerate e illuminate direttamente dall'esterno mediante finestre di superficie non inferiore a 0,80 m<sup>2</sup> presenti in ogni piano servito o per mezzo di lucernario con apertura pari almeno a 0,30 m<sup>2</sup> per ogni piano servito. Gli infissi devono essere agevolmente apribili e pulibili. Nei vani scala è fatto assoluto divieto di realizzare l'apertura di finestre per l'aerazione dei locali contigui.*
- *Sono escluse dalla regolamentazione del presente paragrafo le scale di sicurezza, per le quali si applicano norme specifiche.*
- *Tra la rampa della scala a scendere e gli ingressi nei locali che danno sul pianerottolo di distribuzione dovrà esserci una distanza minima di 0,50 metri calcolata sulla linea di sviluppo della rampa."*

Nei confronti degli aggetti architettonici si fa riferimento all'Art. 92:

- *"l'aggetto di bow windows, balconi, gronde, pensiline, insegne e simili è consentito ad altezza non inferiore a 5,00 metri su marciapiedi e aree aperte al traffico veicolare 3,50 metri su aree pedonali. Gli aggetti, eccedenti i 2,00 metri su tali spazi dovranno essere oggetto di apposita convenzione di servitù.*
- *Parapetti e davanzali devono avere un'altezza non inferiore a 1,10 metri e devono garantire l'inattraversabilità di una sfera di 10 cm di diametro e per disegno e materiali impiegati, condizioni di sicurezza con riferimento ai possibili utilizzatori del manufatto."*

In conseguenza a tutte le prescrizioni precedentemente elencate, si stabiliscono i limiti massimi di edificabilità per il lotto oggetto di progettazione; tali limitazioni sono sintetizzate graficamente nell'immagine di seguito riportata.

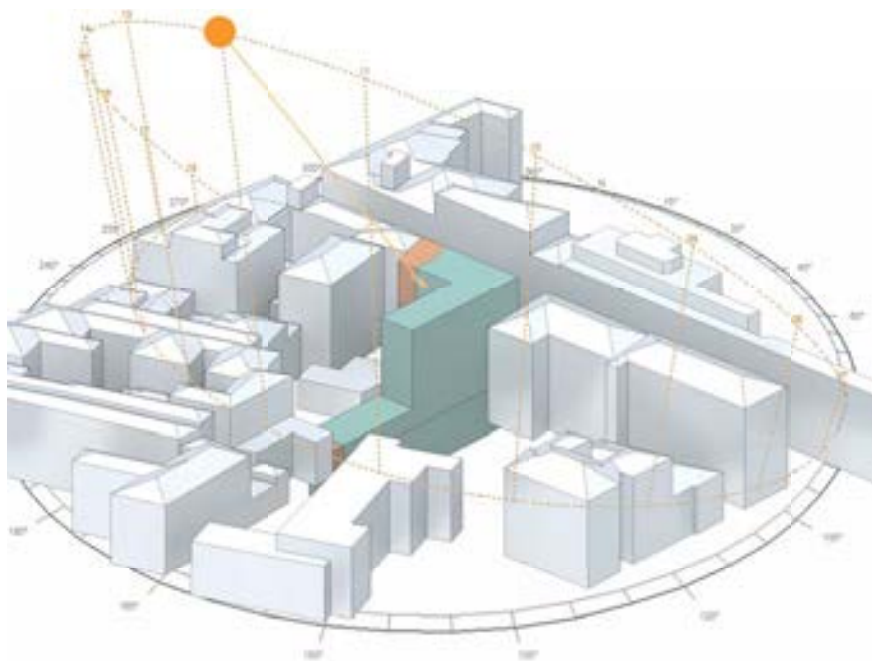




Fig.007 Limiti di edificabilità come da prescrizioni del Regolamento Edilizio di Milano

-  Volume massimo edificabile pari a circa 4.590 m<sup>3</sup>
-  Volume non edificabile per rispetto delle distanze minime tra superfici vetrate

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 collettivo, nonché a servizi privati”*.

## 2.2 EDILIZIA RESIDENZIALE A SCALA URBANA

### 2.2.1 RESIDENZE DI WANSEY STREET, LONDRA

**drMM** è uno studio internazionale di architetti e designer fondato nel 1995 da Alex de Rijke, Philip Marsh e Sadie Morgan.

Sono famosi per la creazione di un'architettura innovativa, di alta qualità e socialmente utile, e hanno vinto numerosi premi tra cui il Building Design (BD) Architect Of The Year 2013.

In particolare, le residenze di Wansley Street rappresentano un progetto pilota in un contesto di rigenerazione urbana, nonché di riflessione sulla tipologia residenziale cittadina.

Il sito di progetto era costituito da un vuoto presente tra un gruppo di residenze a schiera in stile Vittoriano e il palazzo Walworth, il che offriva una possibilità di reinterpretazione del tradizionale edificio residenziale a stecca secondo i canoni contemporanei della densità, della flessibilità d'uso, della sostenibilità e della sicurezza.

Si è optato per un'architettura vivace e colorata, in contrapposizione alle fabbriche monolitiche di mattoni tipiche dello stile Vittoriano; il complesso è un insieme di piccoli appartamenti con spazi di permeabilità che mettono in comunicazione la strada e i retrostanti giardini comuni.

L'attenzione è rivolta principalmente all'illuminazione naturale ed alla fruibilità degli spazi interni, portando a finestre a tutta altezza e all'abolizione completa di spazi corridoio.

La facciata in fibrocemento colorato è dimensionata per dare coesione alla cortina edilizia dal palazzo comunale alle case a schiera, oltre a dare unità al complesso residenziale stesso, costituito da quattro blocchi indipendenti.

Infine l'aspetto sociologico dell'architettura si concretizza nella commistione all'interno del progetto tra edilizia sociale e privata, rafforzata dall'utilizzo di scale comuni, garantendo la massima qualità possibile a tutti i residenti, indipendentemente dal loro tenore di vita.

AUTORE: **drMM**

LUOGO: Londra REGNO UNITO, 2006

SUPERFICIE LOTTO: 1.022 m<sup>2</sup>

SUPERFICIE COSTRUITA: 3.037 m<sup>2</sup>

UNITÀ ABITATIVE: 31

COSTO: 1.562 \$/m<sup>2</sup>



*Fig.008 Fronte strada del complesso di Wansley Street, adiacente al palazzo Walworth*

CARATTERISTICHE:

- Lo schema costruttivo reinterpreta il tema del terrazzo secondo i nuovi requisiti di densità, flessibilità, sostenibilità costruttiva;
- Combinazione di diverse tipologie residenziali per differenti classi di reddito;
- Forte modularità della struttura che consente un'elevata flessibilità compositiva per quanto riguarda le unità abitative.



## 2.2.2 RESIDENZE IN RUE LOUIS BLANC, PARIGI

La collaborazione tra Emmanuel Combarel e Dominique Marrec è iniziata a seguito dell'attribuzione del premio "Albums de la Jeune Architecture" nel 1993 e della borsa di studio "Villa Médicis Hors les Murs" nel 1996.

Lo studio persegue un'architettura semplice e sobria, che segue una logica rigorosa senza preconcetti o preoccupazioni stilistiche.

Il progetto di edilizia residenziale al numero 45 di rue Louis Blanc, nel 10° Arrondissement di Parigi, è stato commissionato nel 1998 dall'autorità per i beni immobili cittadina, Régie Immobilière de la Ville de Paris (RIVP).

Si trattava di un'opera di ricostruzione all'interno di un vuoto urbano di circa 600 m<sup>2</sup>, realizzando un edificio a basso costo rispondente agli standard High Environmental Quality (HQE), all'epoca ancora in corso di definizione.

La costruzione, completata nel 2007, attiene perfettamente ai requisiti della committenza ed è classificata "Habitat and Environment".

L'edificio è divenuto un elemento iconico del paesaggio urbano e le residenze sono pienamente confortevoli.

Nel complesso la struttura, dalla facciata a vetrate sparse in modo irregolare e dal rivestimento vetrato opalizzato con una colorazione biancastra, appare come un blocco dall'aspetto glaciale senza contrastare con i toni marmorei degli edifici adiacenti.

Inoltre, dopo il crepuscolo, grazie anche a degli oculi quadrangolari posti dietro i pannelli opalizzati di facciata, la residenza diviene una sorta di lanterna, diffondendo luce soffusa nella via; l'effetto è ottenuto sia sfruttando l'illuminazione degli ambienti interni, sia tramite un apposito sistema di illuminazione, calda e tenue, posto nel retro della facciata che contribuisce a dare un senso di sicurezza.

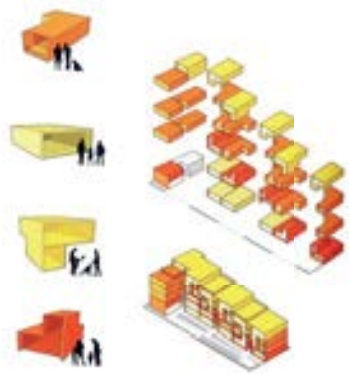


Fig.009 Immagini del progetto residenziale a Londra



AUTORE: Emmanuel Combarel Dominique Marrec Architectes

LUOGO: Parigi FRANCIA, 2006

SUPERFICIE LOTTO: 550 m<sup>2</sup>

SUPERFICIE COSTRUITA: 1.537 m<sup>2</sup>

UNITÀ ABITATIVE: 17

COSTO: 1.303 \$/m<sup>2</sup>



Fig.010 Prospetto su strada dell'edificio al numero 45 di rue Louis Blanc, Parigi

CARATTERISTICHE:

- L'edificio risponde agli standard energetici dell'HQE (High Environmental Quality), sebbene ancora in fase di definizione ai tempi della costruzione;
- La forma rispecchia esattamente i vincoli e gli allineamenti dati dal contesto, tranne il piano terreno che viene lasciato aperto;
- Il fabbricato colma un precedente vuoto urbano ed è fortemente caratterizzato da una facciata in vetro e opalina che, nelle ore notturne, diffonde una luce calda e soffusa sulla strada parigina, sfruttando l'illuminazione interna delle abitazioni, e aumentando la percezione di sicurezza dell'area



Fig.011 Immagini del progetto residenziale a Parigi

### 2.2.3 RESIDENZE “THE MOUNTAIN”, COPENAGHEN

BIG, acronimo di Bjarke Ingels Group, è uno studio internazionale di architettura fondato nel 2005 da Bjarke Ingels a Copenhagen, Danimarca.

JDS, acronimo per Julien De Smedt Architects, è uno studio di architettura e design fondato e diretto da Julien De Smedt (co-fondatore di PLOT).

“The Mountain” è un complesso di residenze soprastanti un parcheggio multipiano.

Gli appartamenti sono posti diagonalmente a scalare su una superficie inclinata, che costituisce la copertura del parcheggio, il quale diventa una sorta di pendio collinare artificiale, orientato a sud.

Ogni appartamento presenta un cortile realizzato sfruttando la copertura dell'appartamento al livello immediatamente inferiore: ne risulta una serie di attici con terrazzo-giardino come tentativo di bilanciare lo stile delle villette di periferia con la densità dell'abitato cittadino.

Come volumetria il complesso è destinato per due terzi a parcheggio e per il terzo rimanente a residenza: da questa condizione posta dalla committenza è derivata l'idea di porre le funzioni di servizio a basamento delle funzioni residenziali, superando in questo modo le problematiche derivate dalla presenza di una struttura multipiano di parcheggio sullo skyline di un complesso di abitazioni dalle dimensioni inferiori.

Inoltre il basamento fornisce da supporto per portare le unità immobiliari ad una quota meno interessata dallo smog e dai rumori del traffico cittadino, oltre che per rendere possibile dotare gli appartamenti di un godibile panorama sul paesaggio circostante.

Dal punto di vista delle tecnologie volte alla sostenibilità, l'edificio presenta un sistema di raccolta dell'acqua piovana, che viene convogliata in una cisterna sotterranea e riutilizzata per irrigare le terrazze-giardino.

AUTORE: **BIG+JDS**

LUOGO: Copenhagen DANIMARCA, 2008

SUPERFICIE LOTTO: 6.900 m<sup>2</sup>

SUPERFICIE COSTRUITA: 32.930 m<sup>2</sup>

UNITÀ ABITATIVE: 83

COSTO: 773 \$/m<sup>2</sup>



Fig.012 Vista aerea del complesso “Mountain dwellings”, Copenhagen

CARATTERISTICHE:

- Tipologia residenziale suburbana in un contesto urbano ad alta densità;
- Utilizzo del concetto dei terrazzamenti per fornire ad ogni unità abitativa uno spazio aperto ad uso privato;
- Soleggiamento ottimale per tutte le abitazioni.



Fig.013 Immagini del progetto residenziale a Copenhagen

## 2.2.4 ASPETTI PROGETTUALI RICORRENTI

Dall'analisi dei progetti riportati, con i loro differenti approcci alla progettazione, si manifesta un'attenzione globale, recentemente sempre più marcata, nei confronti degli aspetti energetici, del comfort e sociali da parte dell'architettura residenziale urbana.

Seppure in contesti climatici diversi tra loro, in ogni progetto enunciato vi è un'attenzione particolare rispetto all'illuminazione naturale degli ambienti; esso è infatti strettamente legato sia alla salubrità degli spazi che alla salute degli utenti, come sempre più messo in evidenza da studi recenti.

Oltre al fattore luce, anche gli aspetti energetici e di sostenibilità ambientale sono tenuti in forte considerazione; sono perseguite diverse strategie a seconda del clima e del tipo di edificio, rimane costante un'attenzione ai materiali che assumono una doppia valenza di carattere architettonico e di strategia energetica.

Dal punto di vista compositivo, gli spazi di servizio sono generalmente collocati ai piani inferiori, realizzando un basamento continuo sotto le unità abitative; gli alloggi e le camere sono caratterizzati da grandi aperture per l'illuminazione e l'areazione naturale; vi è un'attenzione duplice nei confronti degli allineamenti urbani e nella disposizione volumetrica che tende ad una configurazione digradante verso sud, al fine di fornire la massima esposizione solare a tutti i livelli degli edifici.

Un altro aspetto fortemente presente è quello della corte o del giardino; essi generano infatti un senso di comunità e di spazio condiviso, oltre a riportare l'aspetto naturale all'interno dei confini cittadini di uno spazio densamente costruito.

In conclusione si enfatizza l'integrazione culturale e sociale dei fabbricati con la vita cittadina, siano esse ottenute per mezzo di meri espedienti formali ed estetici, che tramite un rapporto attivo nei confronti delle dinamiche sociali.



## 2.3 CONCEPT ARCHITETTONICO

### 2.3.1 DIRITTO ALLA LUCE

Mediante l'utilizzo del software Ecotect Analysis, si valuta l'impatto dell'edificio da realizzare sul diritto alla luce dei fabbricati del contesto circostante, ossia si studia quali siano le porzioni di volume che maggiormente ostruiscono il soleggiamento delle preesistenze oltre che eventuali problematiche dovute ad ombre autoportate; quest'ultime dovute essenzialmente alla forma ed all'orientamento imposti dalla tipologia di costruzione in cortina.

In seguito alle verifiche del comportamento relativo al volume massimo edificabile, si propongono variazioni di carattere morfologico, cercando di ottimizzare il rapporto tra lo sfruttamento del suolo disponibile e la riduzione dell'ombreggiamento, sia per quanto riguarda il contesto sia relativamente all'edificio stesso, data la destinazione d'uso di tipo residenziale.

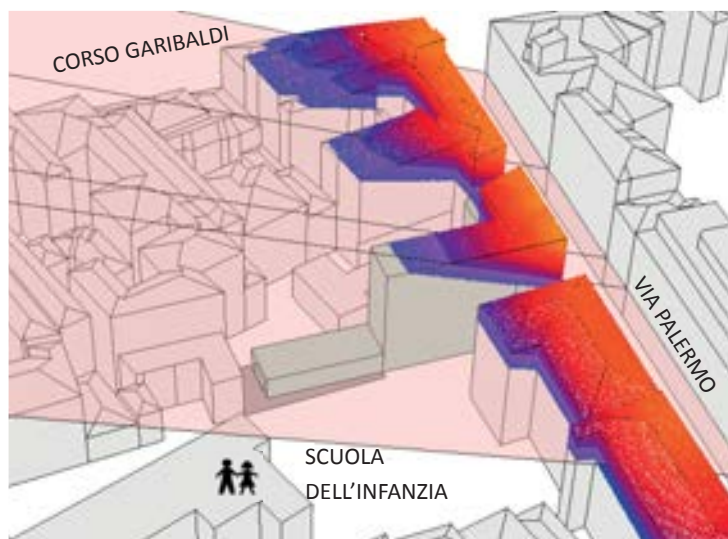


Fig.014 Diritto alla luce su via Palermo, soluzione a tetto piano

Nelle immagini a lato riportate si nota come una copertura a falda con un'inclinazione fino ad un massimo di 35° non peggiora gli apporti solari degli edifici prospicienti via Palermo, nei confronti di una copertura piana con la stessa altezza di gronda.

In seguito all'adozione di una copertura a falde, tipica del contesto, non è stato compromesso in modo significativo il diritto alla luce delle residenze al primo piano di via Palermo, ovvero le più critiche, mantenendo invariata la SIp realizzabile di progetto.

Una maggiore inclinazione delle falde non influisce in modo sostanziale, in quanto il parametro critico in questo caso rimane la quota del colmo di copertura; diminuire tale quota comporterebbe una rinuncia ad una porzione di SIp realizzabile non banale, peraltro il livello di ostruzione risultante, dato dall'edificio di progetto, è paragonabile a quello proprio delle preesistenze limitrofe: pertanto non si riscontra l'utilità di una sua ulteriore riduzione.

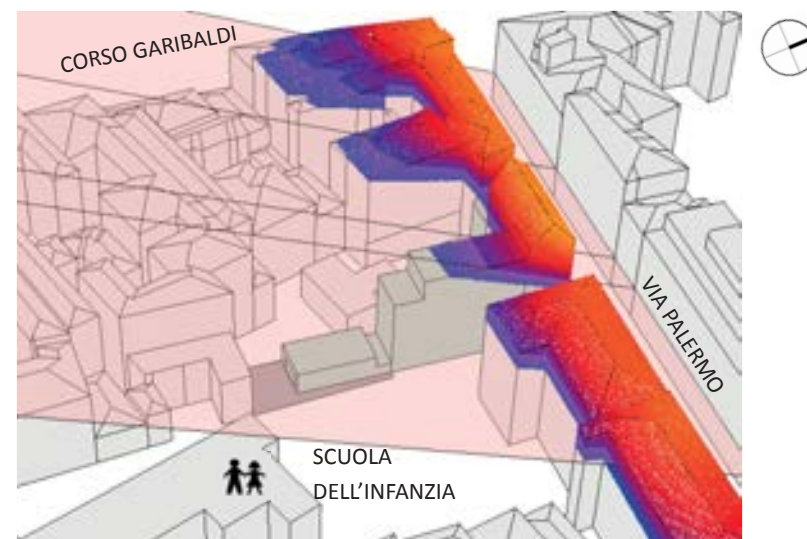


Fig.015 Diritto alla luce su via Palermo, soluzione a tetto a falde



Di seguito è valutata l'opportunità di modificare il volume con orientamento Nord Sud, perpendicolare a via Palermo, al fine di migliorare il più possibile l'accesso alla luce dei piani inferiori, e di mitigare l'impatto sul costruito esistente.

Abbassando l'altezza della porzione di fabbricato con sviluppo longitudinale lungo la direttrice Nord-Sud, per mezzo della realizzazione di piani sfalsati, si migliora l'impatto della nuova costruzione nei riguardi del soleggiamento dell'intorno edilizio.

Inoltre, un abbassamento di 1,9 m della porzione di fabbricato rivolta a Sud comporta un sostanziale miglioramento dell'accesso alla luce anche per gli edifici prospicienti il lato ovest della corte interna.

In conclusione si effettua un controllo degli effetti delle modifiche volumetriche apportate, relativamente agli edifici adiacenti al lotto, verificando l'effettiva influenza del corpo di fabbrica ortogonale a via Palermo sugli stessi.

**LEGENDA DEL POTENZIALE DI OSTRUZIONE SOLARE**



La scala cromatica, presente nelle immagini qui a lato, è relativa allo studio sul diritto alla luce (right to light) effettuato tramite l'utilizzo del software Ecotect Analysis 2011: essa indica l'importanza relativa delle parti di volume esaminato che hanno il maggior potenziale di ostruzione della luce.

Com'è intuibile le parti con colori caldi via via verso il giallo sono le più critiche per il soleggiamento delle superfici in esame, mentre quelle con colorazione verso il blu sono potenzialmente molto meno influenti.

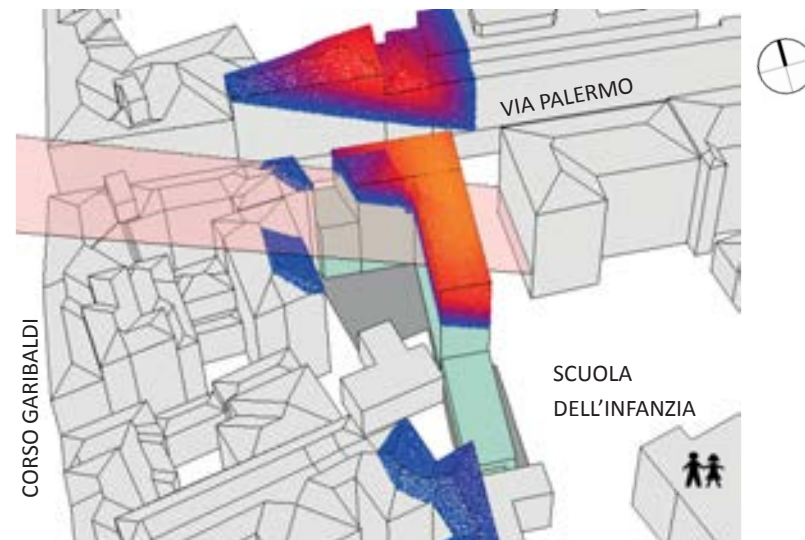


Fig.016 Diritto alla luce degli edifici a est del lotto, soluzione a volume massimo

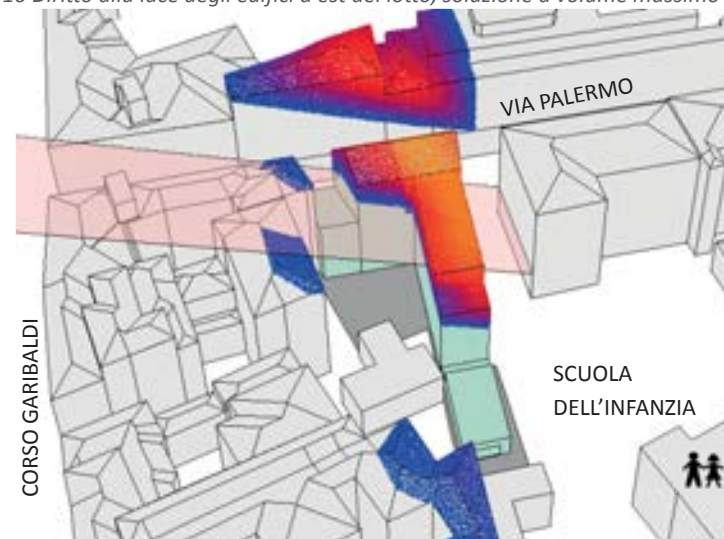


Fig.017 Diritto alla luce degli edifici a est del lotto, soluzione a piani sfalsati

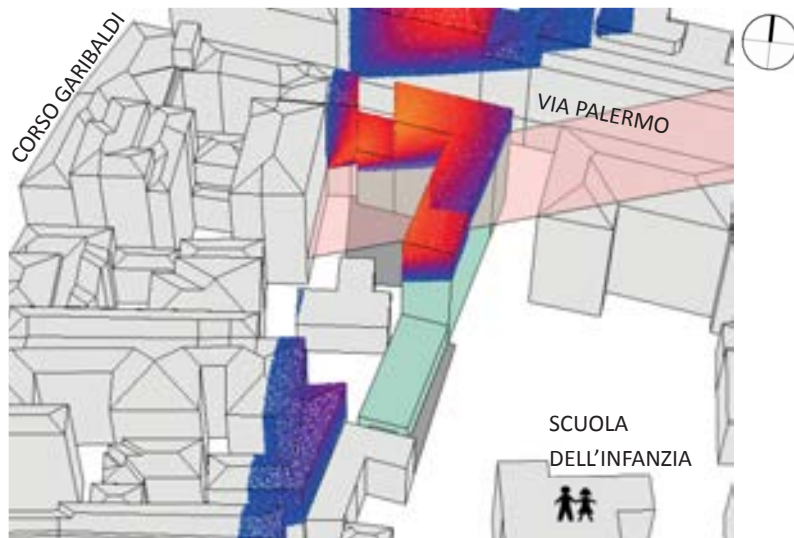


Fig.018 Diritto alla luce degli edifici ad ovest del lotto, soluzione a volume massimo



Fig.019 Diritto alla luce degli edifici ad ovest del lotto, soluzione a piani sfalsati

Come si può osservare dalle immagini, nonostante la distanza dal corpo di nuova realizzazione sul lato opposto, una soluzione che preveda lo sfruttamento della volumetria massima disponibile risulterebbe ad alto potenziale di ostruzione; mentre la soluzione a volume ridotto è ottimale per l'illuminazione delle facciate rivolte sulla corte al punto da risultare praticamente ininfluyente nei confronti del diritto alla luce dell'edificio esaminato.

Per quanto riguarda il corpo di fabbrica rivolto su via Palermo, esso si trova a nord-est rispetto alla facciata in esame e, nonostante un alto potenziale di ostruzione, la sua influenza sul soleggiamento di suddetta facciata è limitata e trascurabile.

Inoltre, la riduzione del corpo ortogonale a via Palermo porta ad un considerevole miglioramento delle condizioni di soleggiamento per quanto riguarda il fabbricato antistante rispetto alla strada secondaria laterale al lotto; dato che l'area è rimasta ineditata per molti anni, in questo modo si riesce a ridurre anche l'impatto della nuova costruzione sulle aspettative di comfort luminoso degli inquilini dell'edificio in questione.

Infine è stato eseguito un ultimo controllo sull'esposizione solare della corte interna:

- nel periodo invernale, la variazione del volume costruito non ha molta influenza, tuttavia è preferibile l'impiego di vegetazione a foglie caduche per sfruttare il più possibile le poche ore di luce disponibili sul fronte sud;
- nel periodo estivo si nota un aumento del soleggiamento della corte interna e l'impiego di vegetazione in grado di crescere fino ai 18 m di altezza può aiutare a diminuire considerevolmente il carico termico sul fronte sud.

Si rivela praticamente impossibile garantire lo stesso livello di illuminazione naturale dello stato attuale, particolarmente nel periodo invernale; tuttavia vengono altresì ridotte le ore di radiazione solare diretta nella stagione estiva: è possibile, mediante l'aggiunta di una piantumazione a foglie caduche, diminuire in modo significativo il carico termico gravante sulla corte d'estate, garantendo un'adeguata captazione luminosa d'inverno.

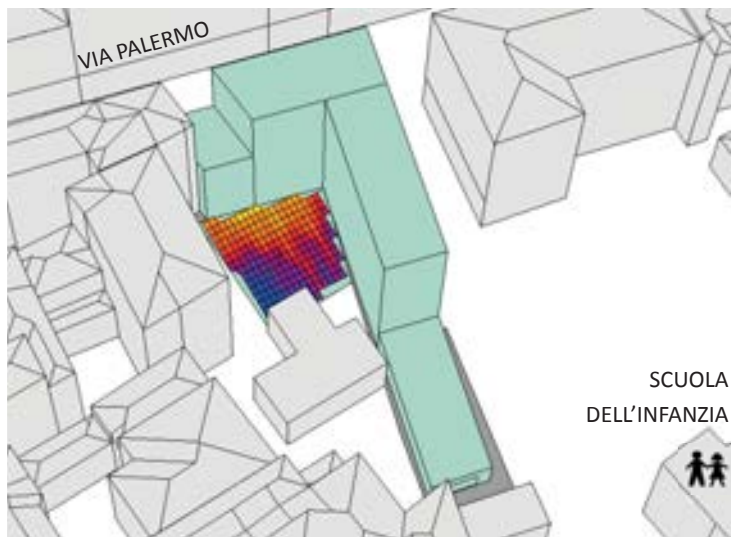


Fig.020 Esposizione solare della corte, periodo invernale, soluzione a volume massimo

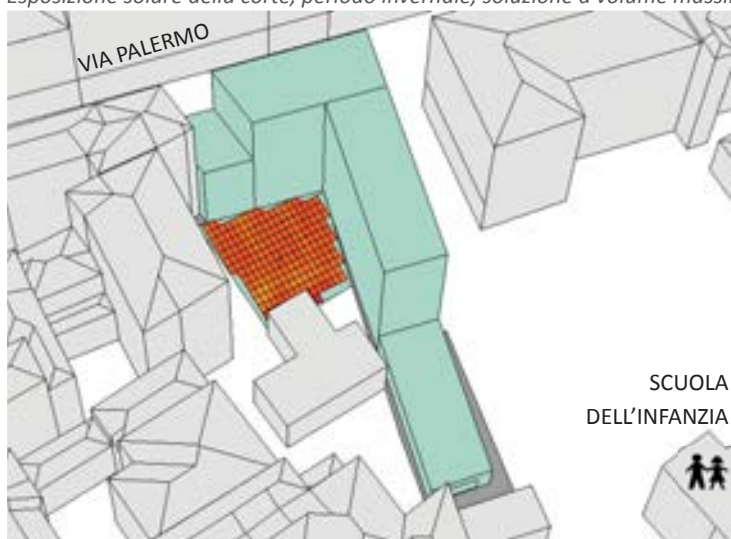


Fig.021 Esposizione solare della corte, periodo estivo, soluzione a volume massimo

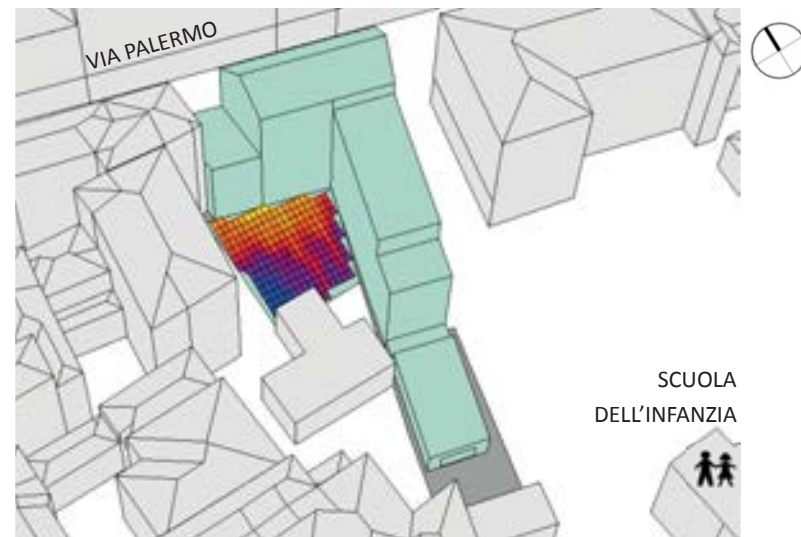


Fig.022 Esposizione solare della corte, periodo invernale, soluzione a piani sfalsati

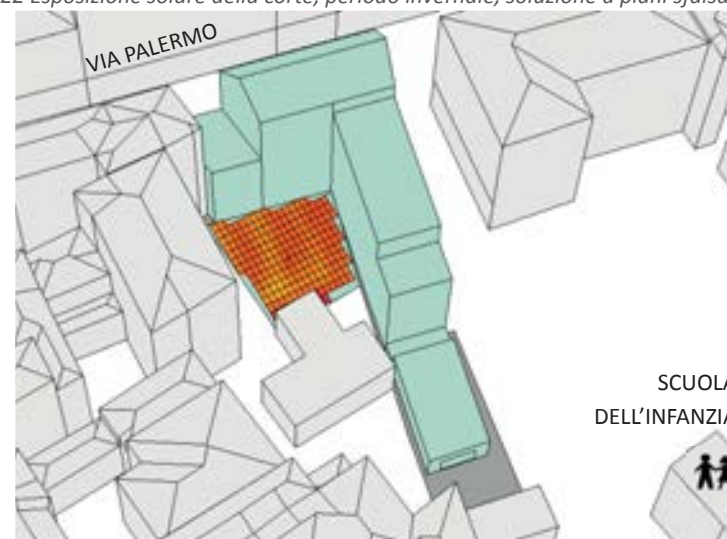


Fig.023 Esposizione solare della corte, periodo estivo, soluzione a piani sfalsati



Il volume ottenuto rappresenta un compromesso ottimale tra volume edificato e qualità dell'illuminazione naturale degli ambienti, sia per l'edificio di progetto che per il contesto.

### 2.3.2 CARATTERI ARCHITETTONICI

La tipologia edilizia milanese è caratterizzata da cortine edilizie continue formate da edifici che si sviluppano attorno ad una corte interna, spesso adibita a giardino. Il progetto si inserisce in un vuoto urbano, ripristinando la continuità della cortina edilizia e, contemporaneamente, racchiudendo a sua volta uno spazio da adibire a cortile.

L'intento specifico è la realizzazione di un terreno su cui costruire delle relazioni: uno spazio verde concepito come luogo d'incontro per i fruitori della pinacoteca e per i clienti della caffetteria. La corte diviene il simbolo della sostenibilità intesa non solo come obiettivo da perseguire, ma anche valore culturale da condividere ed elemento di aggregazione per la cittadinanza.

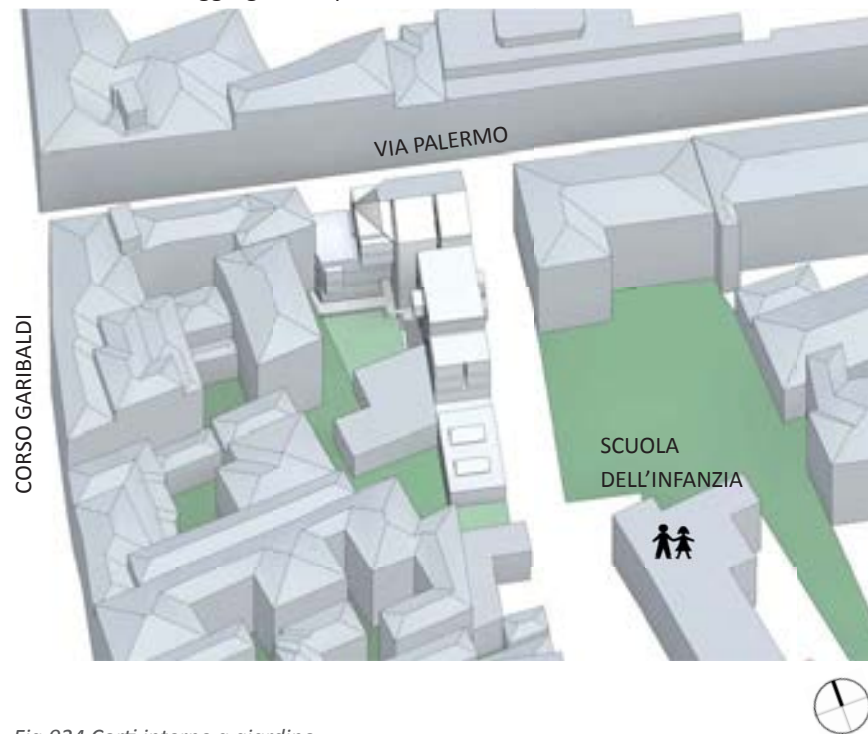


Fig.024 Corti interne a giardino



Il tessuto edilizio milanese è fortemente connotato dall'uso di coperture a falde.

Il progetto prevede il recupero di tale tipologia formale per quanto riguarda la porzione di edificio rivolta su via Palermo, pur rielaborandola secondo una rilettura in chiave innovativa, trasformandola in un elemento connotativo del progetto.

Si sfrutta l'edificabilità fino ad altezza di gronda degli edifici limitrofi, come da Regolamento Edilizio, ricostruendo la continuità con la cortina edilizia esistente.



Fig.025 Coperture a falde

Recentemente, in seguito ai cambiamenti climatici che hanno portato ad eventi meteorici sempre più intensi e concentrati nel tempo, è emersa la questione dell'impatto edilizio delle nuove costruzioni, che riducono le già scarse superfici filtranti cittadine; per questo si ricorre all'impiego di coperture giardino, con benefici anche dal punto di vista termico.

Le terrazze giardino si traducono, di conseguenza, in un minore consumo energetico; inoltre valorizzano la tutela dell'ambiente, nonché i benefici dal punto di vista paesaggistico che questa soluzione architettonica comporta.



Fig.026 Vegetazione in copertura



In complesso, nella definizione del progetto, sono stati seguiti i seguenti principi volti alla definizione di un'architettura sostenibile inserita armoniosamente nel contesto:

- Valorizzare gli ingressi dell'affaccio principale verso nord su via Palermo.
- Porre attenzione alle ombre portate dagli edifici esistenti sui prospetti est ed ovest.
- Massimizzare gli apporti solari gratuiti sul fronte sud, dotato di ampia visuale verso il panorama cittadino.
- Valorizzare la corte interna, tipica delle architetture milanesi, e metterla in diretta comunicazione con via Palermo
- Ottimizzare le prestazioni dinamiche dell'involucro mediante l'utilizzo di serre bioclimatiche.
- Favorire l'impiego di materiali riutilizzabili, riciclabili, biocompatibili e, ove possibile, provenienti da una filiera di riciclaggio.



Fig.027  
Raffigurazione di Paul Flora  
Nostalgische Anlage (1974)

- Limitare l'impatto edilizio derivante dall'occupazione del suolo libero attraverso la realizzazione di coperture a giardino e sistemi di recupero delle acque piovane (si adotta la metodologia di calcolo dell'indice RIE secondo le indicazioni fornite dalla Provincia di Bolzano).
- Impiegare ove possibile tecniche costruttive a secco per facilitare il recupero e il riutilizzo futuro dei materiali.

Tra le problematiche di degrado ambientale tipiche dei centri urbani vi è la questione della continua impermeabilizzazione e sigillatura dei suoli, dalle note conseguenze: la difficoltà di deflusso idrico, il peggioramento del microclima urbano e l'accumulo di inquinamento atmosferico.

Tali superfici impermeabili favoriscono il riscaldamento dell'aria sovrastante, provocando il ricircolo delle polveri dovuto ai moti convettivi.

Il calore accumulato, inoltre, contribuisce notevolmente al fenomeno della cosiddetta "isola di calore urbana", data la mancanza del naturale effetto di mitigazione fornito dalla presenza di vegetazione.

Esistono strumenti atti a ridurre queste problematiche, come la scelta di pavimentazioni drenanti o la progettazione di coperture vegetali, ove consentito dal clima.

L'indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio (RIE) è ideato proprio per limitare la quantità di superfici impermeabili negli interventi edilizi che incidono su tutte le superfici esterne esposte alle acque meteoriche e si esprime con un valore compreso tra 0 e 10: dove 0 corrisponde ad una superficie completamente sigillata e 10 ad una superficie completamente permeabile.

Dal 2004 il comune di Bolzano ha reso obbligatoria la certificazione RIE per tutti gli interventi edilizi, sia residenziali che produttivi, imponendo come valori minimi un indice pari a 1,5 per le zone produttive e pari a 4 per le zone residenziali.

L'obiettivo dall'amministrazione di Bolzano è stato quello di sollecitare i progettisti ad introdurre criteri di qualità progettuale non solo in ambito edilizio, ma anche nella progettazione del verde; inoltre si è riscontrata una maggior sensibilizzazione anche tra i cittadini per quanto concerne l'utilizzo della vegetazione e il trattamento degli spazi esterni.

Pertanto è stato eseguito il calcolo dell'indice RIE secondo la procedura stabilita dal Comune di Bolzano, sia nel caso relativo allo stato di fatto che per le scelte di progetto effettuate; questo al fine di verificare le eventuali ripercussioni della nuova edificazione rispettivamente alla situazione attuale.

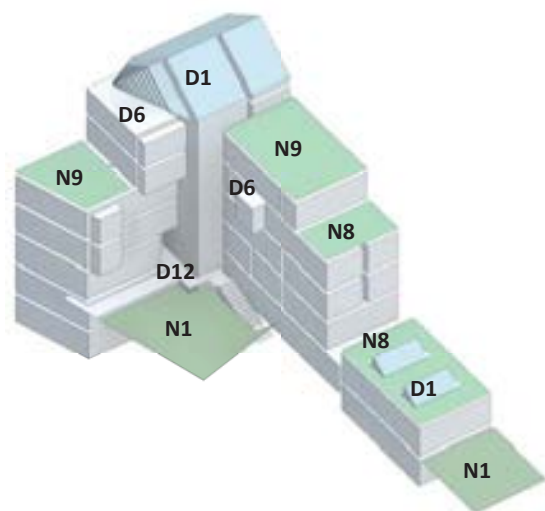


Fig.028 Indicazione superfici di progetto

La superficie edificata è pari a circa 500 m<sup>2</sup>, di cui circa 200 m<sup>2</sup> di superficie filtrante sono recuperati mediante l'adozione di coperture a giardino.

(\*) Il coefficiente di deflusso è ridotto in quanto tali superfici concorrono alla raccolta e al recupero dell'acqua piovana.

In definitiva è risultato un complessivo mantenimento della capacità drenante del lotto di progetto, confermando la correttezza delle scelte progettuali ipotizzate in precedenza.

Nei calcoli riportati di seguito, inoltre, non è incluso l'effetto del sistema di recupero delle acque meteoriche che si intende adottare, poichè esso necessita di calcoli specifici eseguiti dall'amministrazione di Bolzano su specifica richiesta e non sono disponibili valori statistici tabellati.

Per questo motivo, è lecito desumere che l'impatto della rete idrica cittadina del progetto finale possa essere anche migliore rispetto a quanto calcolato.

Tab.002 Calcolo dell'indice RIE e confronto con lo stato di fatto

Stato di fatto	Categoria di superficie	$\psi$	Stato di progetto
730 m <sup>2</sup>	N4 - Incolto, sterrato, superfici naturali degradate	0,2	
	N1 - Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole	0,1	178 m <sup>2</sup>
	N8 - Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $8 \leq s \leq 15$ cm	0,45	97 m <sup>2</sup>
	N9 - Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $15 < s \leq 25$ cm	0,35	102 m <sup>2</sup>
1	Alberi I° Categoria: altezza oltre i 18 m	-	1
	Alberi III° Categoria: altezza tra i 4 e i 12 m	-	2
	D1 - Coperture metalliche con inclinazione $> 3^\circ$	0,19*	134 m <sup>2</sup>
	D3 - Coperture continue con zavoratura in ghiaia	0,19*	45 m <sup>2</sup>
	D6 - Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati), con inclinazione $< 3^\circ$	0,19*	117 m <sup>2</sup>
	D12 - Pavimentazioni in cubetti, pietre o lastre a fuga sigillata	0,8	50 m <sup>2</sup>
	D22 - Vasche, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo con fondo artificiale impermeabile	1,0	4 m <sup>2</sup>
<b>5,158</b>	<b>Indice RIE</b>		<b>5,117</b>

### 2.3.3 STRATEGIE ENERGETICHE

I consumi di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria e di energia elettrica per gli elettrodomestici costituiscono un'altra parte importante del bilancio energetico di un edificio.

L'utilizzo di pannelli solari ibridi consente di ridurli entrambi efficacemente.

Le risorse rinnovabili presentano inoltre numerosi vantaggi, tra cui i maggiori sono senza dubbio l'assenza di emissioni inquinanti durante il loro utilizzo e la loro inesauribilità, difatti il loro impiego non ne pregiudica la disponibilità nel futuro, riducendo al minimo l'impatto ambientale.

In questo modo si tutela la natura nel rispetto delle prossime generazioni e, oltretutto, si limitano i costi di produzione e distribuzione di energia.

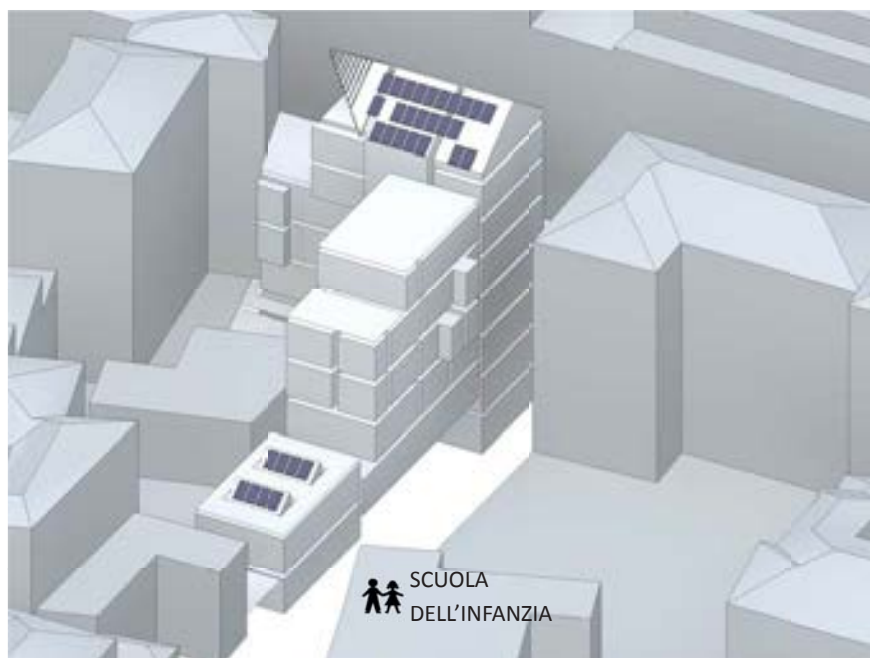


Fig.029 Sfruttamento delle energie rinnovabili

Le coperture a giardino contribuiscono a ridurre l'impatto edilizio di una costruzione, ma la loro capacità di accumulo è spesso limitata nei confronti dei volumi delle precipitazioni; al fine di evitare di caricare ulteriormente la rete idrica cittadina, si ricorre ad un sistema di recupero delle acque piovane.

L'acqua è un bene prezioso, che al pari dell'energia non è più ammissibile sprecare; la media del consumo d'acqua nei paesi europei è di 150 litri al giorno a testa.

Assieme ad una politica di risparmio delle risorse è necessario trovare soluzioni tecnico funzionali per incrementare l'efficienza di utilizzo delle risorse: nel settore privato circa il 50% del fabbisogno giornaliero d'acqua può essere sostituito con acque piovane.

Nelle residenze gli impieghi che si prestano al riutilizzo di queste ultime sono: il risciacquo dei wc, i consumi per le pulizie e il bucato, l'innaffiamento del giardino.

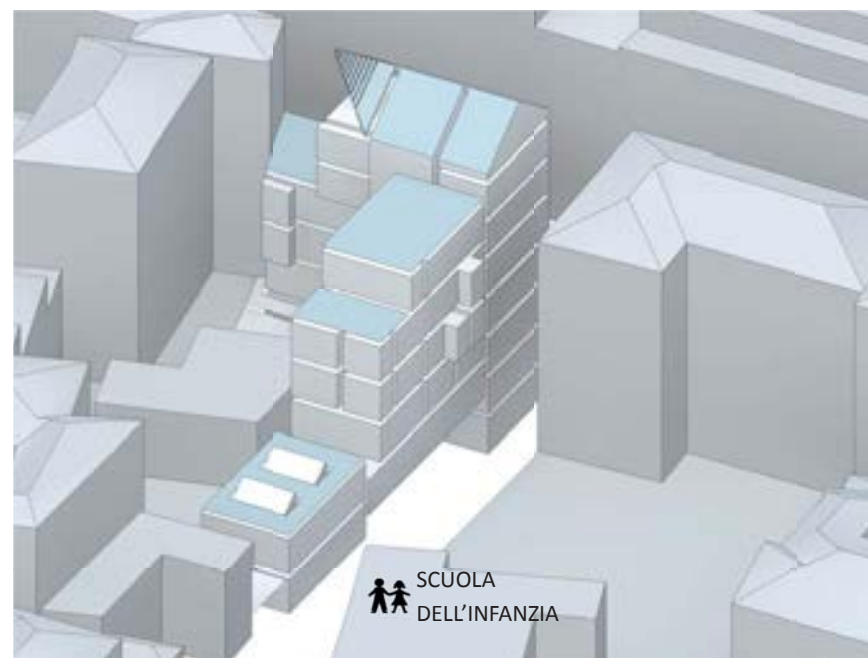


Fig.030 Superfici di recupero dell'acqua piovana





Milano è situata in una zona climatica in cui il fabbisogno energetico invernale per il riscaldamento costituisce un fattore importante per il bilancio energetico degli edifici.

Un modo di ridurre tale fabbisogno consiste nello sfruttamento degli apporti solari gratuiti, attraverso l'impiego di serre bioclimatiche si rilascia tale energia quando è più necessaria.

Di seguito si riporta un'analisi sul funzionamento e sui benefici tipici delle serre bioclimatiche, dalla quale consegue la scelta delle tipologie adottate nel progetto.

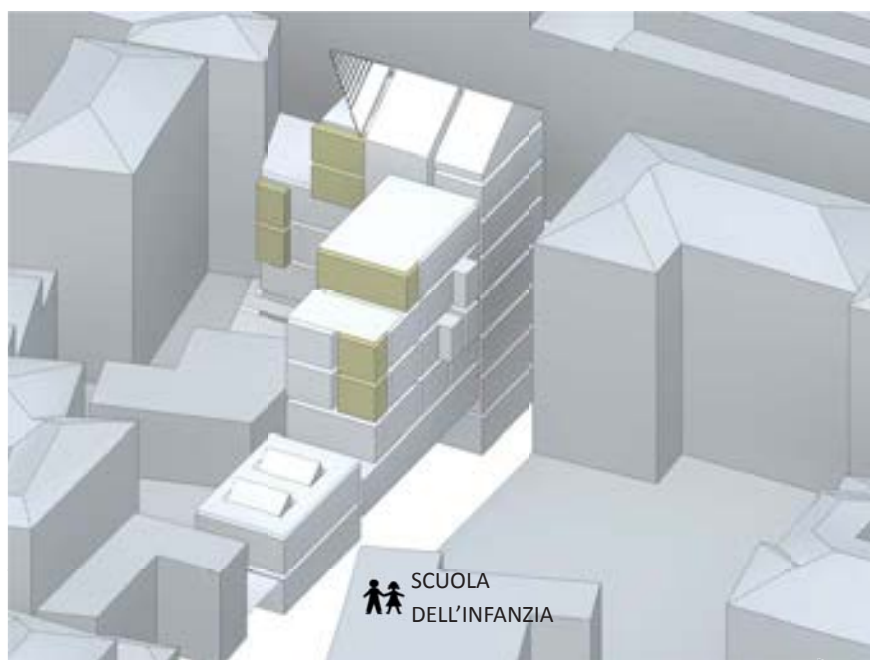


Fig.031 Posizionamento delle serre bioclimatiche

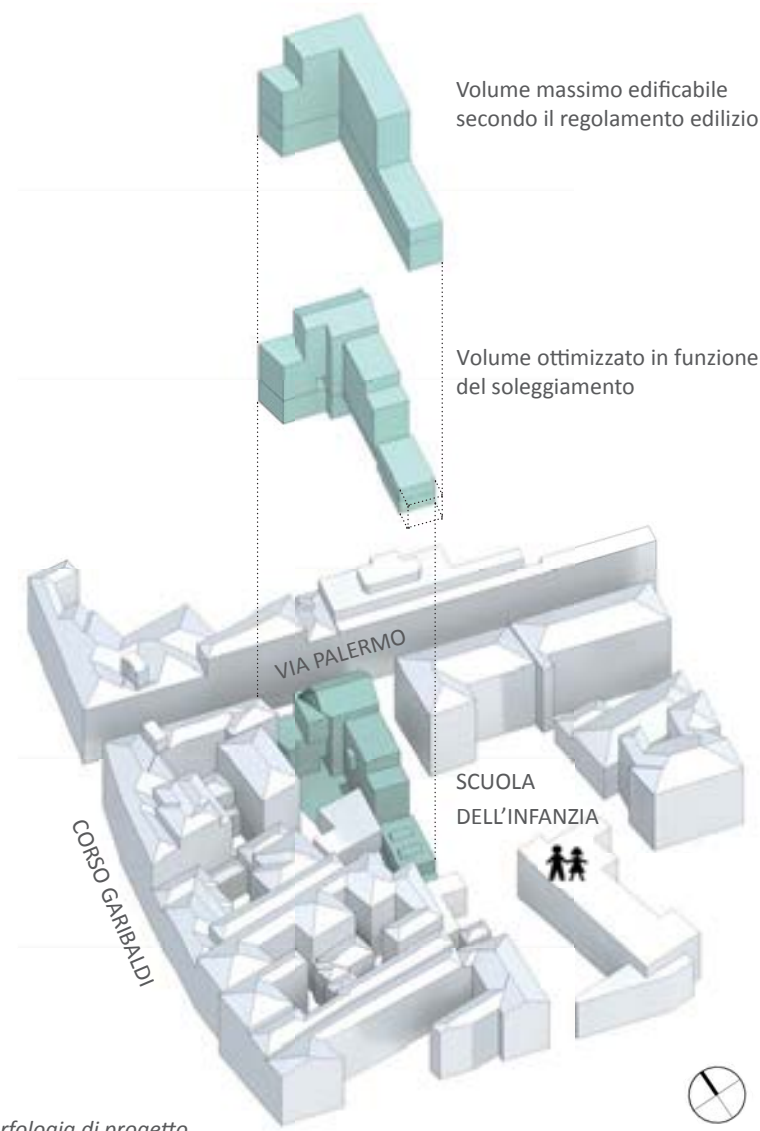


Fig.032 Morfologia di progetto

### 2.3.4 APPROFONDIMENTO SULLE SERRE BIOCLIMATICHE

La serra bioclimatica è una tecnologia passiva per il controllo dei flussi termoisolanti attraverso l'edificio finalizzata al miglioramento del comfort abitativo e alla riduzione dei consumi energetici.

Fisicamente è costituita da uno spazio vetrato, posto in adiacenza all'edificio e abitabile in alcuni periodi dell'anno, che contribuisce al riscaldamento e al raffrescamento dell'edificio.

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

- *Addossata*



Fig.033  
Serra addossata, tratta da "L'architecture d'aujourd"

È costituita da un volume vetrato addossato al perimetro dell'edificio, pertanto condivide con questo soltanto una delle quattro superfici verticali che la definiscono. La copertura è solitamente trasparente ed inclinata.

Si tratta della tipologia più vicina alla forma archetipica della serra e più facilmente incontrabile nelle realizzazioni del centro e nord Europa in situazioni periurbane a bassa densità.

- *Incorporata - Loggia*

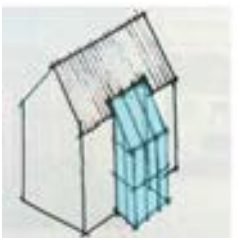


Fig.034  
Serra incorporata, tratta da Architetture di Georg W. Reinberg

Condivide con l'edificio tre delle quattro superfici perimetrali ed ha la chiusura superiore opaca. Si tratta di una tipologia di serra che si adatta bene su edifici multipiano in situazioni urbane a media ed alta densità.

- *Semi-incorporata*



Fig.035  
Serra semi-incorporata, immagine di Zanoni Architekten

Rappresenta una situazione intermedia tra le precedenti.

Può presentare una delle due superfici laterali trasparenti, oppure la copertura trasparente e le superfici laterali opache, altrimenti sia le pareti laterali che la copertura sono parzialmente inglobate nell'edificio.

Tre aspetti caratterizzano la serra bioclimatica:

- *è uno strumento tecnologico per riscaldare e raffrescare*

La serra bioclimatica può essere una serra addossata o incorporata ad un edificio.

Questo ambiente più o meno vetrato, costituisce innanzitutto uno spazio tampone che riduce gli scambi termici tra l'edificio e l'esterno, riducendo le dispersioni d'inverno e i guadagni d'estate.

Inoltre, grazie alla parete vetrata, durante il periodo invernale all'interno della serra bioclimatica si sviluppano temperature dell'aria molto superiori a quelle esterne, le quali possono essere impiegate per riscaldare o pre-riscaldare gli ambienti dell'edificio.

Per un corretto funzionamento, la serra è sempre dotata di masse termiche di accumulo; la presenza di masse di accumulo garantisce uno smorzamento ed uno sfasamento dei picchi termici esterni.

- è uno spazio abitabile

Le condizioni termoigrometriche che si verificano all'interno della serra sono conseguentemente dipendenti dalle condizioni climatiche esterne: soleggiamento, temperatura dell'aria, ventosità, ecc.

In molti periodi dell'anno e in alcune ore della giornata, all'interno della serra si verificano particolari condizioni di comfort.

Ad esempio durante una fredda giornata invernale, la presenza della radiazione diretta produce una sensazione di comfort, le pareti vetrate sono in grado di sfruttare la radiazione solare per innalzare le temperature interne dell'aria, verso i limiti di comfort. Inoltre durante il periodo estivo, attraverso i dispositivi di controllo solare, questo ambiente può divenire uno spazio ad accogliere diverse attività.

- ha una valenza linguistica e architettonica

Le caratteristiche del linguaggio di una serra sono quelle dell'architettura della trasparenza.

Le serre bioclimatiche o i grandi spazi vetrate rimandano alla memoria importanti opere di elevata espressività architettonica, come il *Crystal Palace* o all'eleganza delle *serre delle residenze del periodo Vittoriano*.

Di conseguenza, quando l'elemento trasparente è ragionevolmente collocato e progettato, contribuisce a generare architetture ricche e mutevoli, grazie al contrasto di leggero e pesante e alla variabilità degli aspetti diurno-notturno e estate-inverno.

Il progetto della serra bioclimatica come sistema passivo è al contempo la progettazione di uno spazio con una precisa valenza fruitiva e dalle forti implicazioni linguistico-architettoniche oltre che tecnologiche.

La serra bioclimatica in funzione delle modalità di trasferimento e distribuzione del calore può essere formalmente suddivisa in tre tipi di serra, anche se spesso questi tipi si presentano in combinazione:

- Serra a guadagno diretto



Fig.036 Immagine serra a guadagno diretto

La superficie di separazione tra serra e interno è regolabile e può essere rimossa anche totalmente attraverso serramenti mobili.

A serramenti aperti o tolti la serra diviene un'estensione della casa e il guadagno termico avviene direttamente dentro lo spazio abitato.

- Serra a scambio convettivo



Fig.037 Immagine serra a scambio convettivo

Lo scambio di calore avviene per convezione, questo tipo di serra sfrutta l'aria calda presente nella serra, lo scambio convettivo avviene attraverso dei serramenti di dimensioni più contenute rispetto alla serra a guadagno diretto posti nella parete di separazione.

Lo scambio convettivo può essere ottimizzato attraverso aperture regolabili poste alla base e alla sommità della parete di separazione, oppure utilizzare condotti a ventilazione forzata per lo scambio con locali non adiacenti la serra.

- *Serra a scambio radiante*



Fig.038 Immagine serra a scambio radiante

La parete di divisione della serra è costituita da una parete ad accumulo non isolata, e lo scambio di calore avviene per radiazione nell'ambiente adiacente.

Il funzionamento della serra deve essere rappresentato attraverso semplificazioni in quanto interagisce con il clima, le variabili che influenzano il funzionamento sono:

- la temperatura dell'aria esterna;
- la quantità e il tipo di radiazione;
- la presenza o meno del vento;
- la temperatura dell'ambiente della casa adiacente alla serra;
- l'uso che ne fanno gli utenti.

Al variare di queste condizioni sarà necessario regolare alcune parti della serra, senza le quali le prestazioni della serra bioclimatica potrebbero essere compromesse o controproducenti al mantenimento del comfort termico.

Le regolazioni possono essere effettuate da dispositivi automatici, ma dato che la serra fa parte della casa, è meglio intervenire manualmente per andare incontro alle preferenze degli abitanti.

Un altro fatto caratterizzante per la serra bioclimatica è prevedere quale sarà il ruolo dell'utenza nel suo funzionamento e per quali esigenze si va a creare una serra bioclimatica.

## FUNZIONAMENTO INVERNALE DIURNO

Quello che si vuole ottenere da una serra bioclimatica durante le giornate invernali è che *massimizzi la captazione di energia solare*.

Naturalmente l'energia solare che raggiunge la serra dipende dalla latitudine, dalla presenza o meno di nuvole e dalla limpidezza dell'atmosfera.

L'intensità e il tipo di radiazione possono variare molto da un giorno all'altro o addirittura a distanza di pochi minuti, per esempio durante le giornate caratterizzate da nuvolosità.

Nelle regioni del nord Italia, durante le ore centrali di una giornata serena invernale, i valori di radiazione solare misurati sulla superficie verticale orientata a sud, si aggirano intorno ai 300 Wh/m<sup>2</sup>, di cui circa l'80% è costituito dalla radiazione solare diretta. Sempre nel periodo invernale, ma in una giornata nuvolosa, i valori possono essere dimezzati con un rapporto del 40% circa di radiazione diretta.

La serra produce i massimi benefici in presenza di radiazione diretta sulla superficie vetrata chiusa, anche se in presenza di temperature non troppo basse e con una struttura trasparente e sufficientemente isolata, la serra potrà dare un contributo energetico positivo anche in una giornata nuvolosa.

Nelle *serre a guadagno diretto*, esse devono essere collegate con la casa quando la temperatura della serra sia uguale o maggiore di 19-20°C in modo d'avere un apporto termico positivo, se le temperature della serra a guadagno diretto non raggiungessero le temperature desiderate con i serramenti chiusi essa ridurrebbe le dispersioni della casa verso l'esterno grazie all'effetto tampone.

Nelle *serre a scambio convettivo* analogamente si attiverà lo scambio d'aria quando la serra sarà alla temperatura ottimale espressa prima, in questa serra l'apertura delle bocchette potrà avvenire attraverso serramenti e/o elettroventole comandate da un termostato.

Nelle *serre a scambio radiativo* si cercherà di massimizzare l'esposizione della parete di accumulo alla radiazione solare in modo che questa emetta radiazione infrarossa al locale adiacente quando questi avrà una temperatura inferiore, questo tipo di serra ha una regolazione piuttosto approssimata.



## FUNZIONAMENTO INVERNALE NOTTURNO

Durante le notti invernali l'obiettivo è quello di *minimizzare le dispersioni della serra bioclimatica verso l'esterno*. Le dispersioni eccessive causano il raffreddamento rapido dell'aria e delle masse termiche contenute nella serra impedendo di sfruttare il calore accumulato durante le ore di sole. La quantità di energia dissipata dipende dalle caratteristiche dell'involucro, in particolare la parte trasparente è la fonte principale di dispersioni. A tal fine, la parte vetrata della serra dovrà essere realizzata con vetri e serramenti che minimizzino la dispersione termica e inoltre utilizzare tende o pannelli rigidi rimovibili.

Nelle serre a guadagno diretto l'isolamento dovrà essere concentrato esclusivamente in corrispondenza dell'involucro trasparente in quanto la serra fa parte della casa, questo potrà essere realizzato attraverso tende o pannelli applicati all'interno della struttura vetrata quando la serra non apporti più un contributo positivo al comfort termico dell'ambiente.

Nelle serre a scambio convettivo basterà interrompere lo scambio convettivo con la serra chiudendo le aperture nella parete.

Nelle serre a scambio radiativo bisognerà utilizzare un isolamento mobile sulla parete di accumulo dal lato della serra, per evitare la dispersione termica e usufruire anche nelle ore notturne dell'energia eventualmente immagazzinata nella parete radiante.

## FUNZIONAMENTO ESTIVO DIURNO

Le serre sono nate principalmente per apportare un beneficio termico durante i mesi invernali, esse costituiscono un'estensione dell'abitazione sfruttabile per usi differenti a seconda delle stagioni.

Una serra ben progettata costituirà un ampliamento dell'abitazione diventando uno spazio di relax, ma per funzionare nei mesi estivi, bisognerà predisporre dei sistemi di ombreggiamento per impedire alla radiazione solare di attraversare le superfici vetrate.

Inoltre bisognerà predisporre dei sistemi di aerazione per impedire il verificarsi dell'effetto serra.

## FUNZIONAMENTO ESTIVO NOTTURNO.

Nelle notti estive bisognerà garantire la massima dispersione energetica sia sotto forma radiante che sotto forma di convezione delle masse termiche della serra verso l'esterno.

Di conseguenza, bisognerà ricercare la massima apertura dell'involucro della serra in modo da ottenere il massimo flusso d'aria, in modo da raffrescare la serra e l'edificio creando anche dei moti d'aria interni attraverso delle aperture nell'edificio.

## FUNZIONAMENTO DURANTE LE STAGIONI INTERMEDIE

Non di minore importanza sono le stagioni intermedie.

La quantità di energia captata durante il giorno, offre il corretto comfort termoigrometrico e attraverso la ventilazione nelle ore notturne è possibile evitare il surriscaldamento degli ambienti interni.

I sistemi di schermatura devono consentire il maggior passaggio possibile di radiazione termica e luminosa durante il giorno.

## 2.4 PLANIVOLUMETRICO DI PROGETTO

Come precedentemente enunciato, il lotto di progetto è situato in via Palermo 19 nel quartiere di Brera, un'area del centro storico milanese densamente costruita dalle compatte cortine edilizie.

La zona è comodamente servita dai trasportatori pubblici, rendendo possibili gli spostamenti all'interno della città senza dover ricorrere a mezzi privati.

Brera è storicamente un quartiere dalla forte connotazione commerciale e artigianale; a tutt'oggi rimane un'area estremamente vivace e frequentata, ricca di negozi e di attività culturali satelliti dell'Accademia di Belle Arti, quali teatri e musei.

Il lotto di progetto è in una posizione d'angolo; situato all'interno di via Palermo, strada a senso unico di marcia abbastanza trafficata, è delimitato sul lato est da una strada chiusa, che funge da ingresso per una scuola dell'infanzia.

Tale vicolo è attualmente utilizzato come spazio di sosta per le automobili e risulta privo di attrattività; pertanto non vi vengono posizionati ingressi all'edificio di progetto, optando per una chiusura del prospetto su fronte strada.

La pianta dell'edificio è risultata dalle imposizioni relative alle condizioni al contorno di ricostruzione dei fronti stradali, di adiacenza ai fabbricati confinanti, di mantenimento di uno spazio interno non edificato; si determina pertanto l'impianto a L visibile nella rappresentazione planivolumetrica di seguito riportata.

In conseguenza ai vincoli urbanistici precedentemente elencati, è reso necessario un arretramento di alcuni fronti relativamente ai piani superiori dell'edificio; tale imposizione è sfruttata per progettare una serie di terrazzi adibiti a giardino che forniscono ampie visuali verso lo skyline milanese a sud del lotto.

Come già esposto, una configurazione digradante del fabbricato permette di migliorare l'esposizione solare degli ambienti rivolti verso la corte interna, oltre che della corte stessa.

L'edificio culmina con una copertura a falda, caratterizzata da una finitura in lamiera di zinco-titanio: il materiale è scelto per la tonalità grigio ardesia chiaro che conferisce all'architettura eleganza e pulizia formale e che dialoga con il costruito tradizionale inserendosi armonicamente nel contesto cittadino.

Elemento connotativo di tale copertura è la prosecuzione aggettante e sfrangiata verso l'edificio del lotto adiacente su via Palermo, in un tentativo di ricostituzione ideale della continuità della cortina edilizia, e dalla ulteriore funzione di schermatura solare nei confronti del terrazzo sottostante.

L'inclinazione delle falde è ottimizzata per la captazione luminosa e di energia solare da parte dei pannelli ibridi fotovoltaici e termici, senza la necessità di ulteriori sottostrutture.

*Fig.039 Nella pagina seguente, planivolumetrico di progetto*



## 2.5 LAYOUT DISTRIBUTIVO

La funzione principale di progetto è quella di tipo residenziale, tuttavia, come da prescrizioni del regolamento edilizio, al livello terreno sono inclusi spazi destinati ad attività commerciali e di pubblico servizio.

In generale si identificano due blocchi distinti, fatto evidenziato anche da opportune scelte materiche per quanto riguarda le finiture dei prospetti: un basamento pubblico su cui poggiano quattro piani residenziali privati.

Dato che il piano terreno contiene le funzioni pubbliche, si è scelto di generare una permeabilità sia visiva che fisica verso la corte interna, che risulta accessibile da via Palermo.

La distribuzione verticale è ottenuta tramite un unico blocco scale che serve tutti i piani di progetto, la posizione è centrale per garantire il rispetto delle norme antincendio, senza la necessità di aggiungere scale di sicurezza, date le ridotte dimensioni del lotto.

Il fattore economico, derivante dall'elevato costo dei terreni nei pressi del centro cittadino di una grande città come Milano, rimane infatti un aspetto fondamentale da non tralasciare in fase di progettazione.

Sul fronte residenziale, si è tenuto conto delle indagini demografiche effettuate: sono state scelte tipologie residenziali differenti in numero corrispondente alla distribuzione statistica della composizione del nucleo familiare per i residenti a Milano.

I diversi tagli di alloggio sono distribuiti ai piani mantenendo una commistione tra i generi: questo risponde a una funzione sociale dell'architettura in opposizione a fenomeni di segregazione.

Ai livelli interrati, non abitabili, sono posti i locali tecnici spazi adibiti a cantine e depositi a servizio delle residenze.

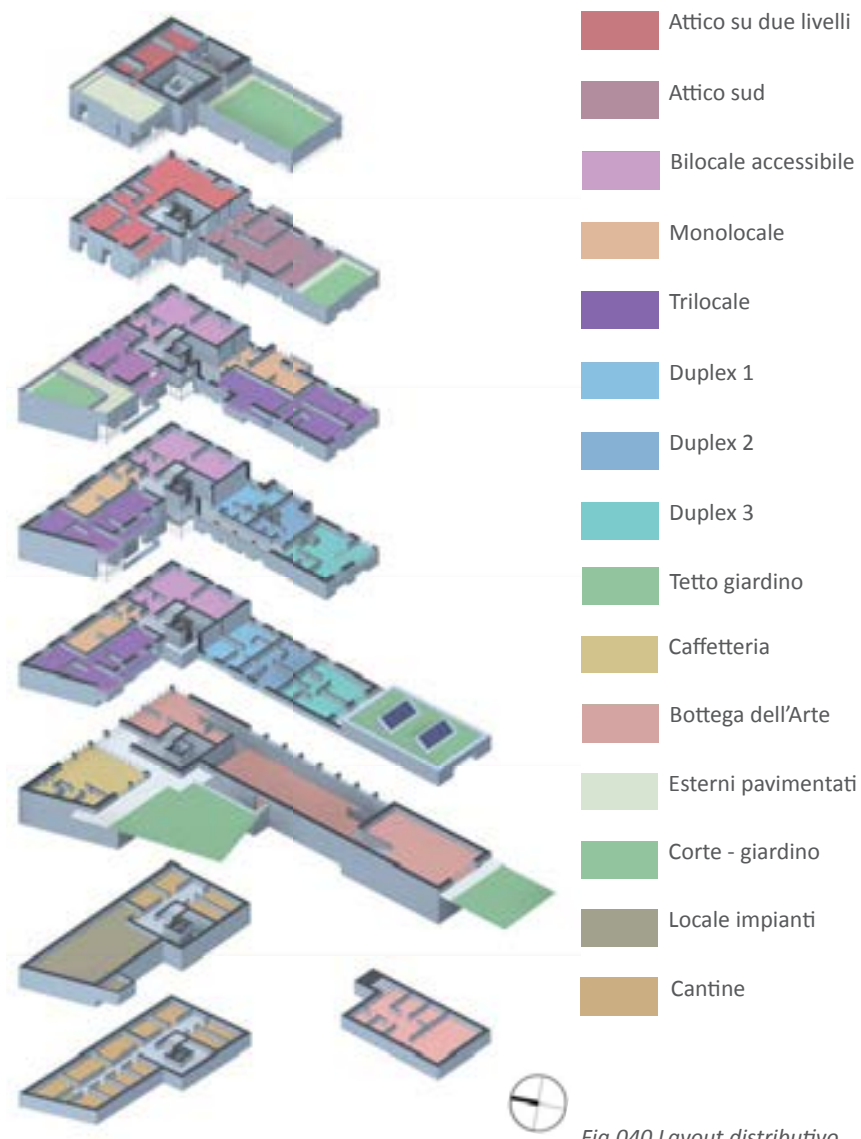


Fig.040 Layout distributivo



## 2.5.1 FUNZIONI PUBBLICHE



### BOTTEGA DELL'ARTE

La funzione principale posta al piano terreno è costituita dalla Bottega dell'Arte, la quale è aperta non solo a coloro che vogliono apprendere o affinare le varie tecniche artistiche, ma anche a professionisti e artisti affermati, data la vicinanza dell'Accademia di Belle Arti di Brera, che hanno l'opportunità di allacciare contatti per esposizioni e rassegne d'arte con realtà artistico-culturali nazionali e internazionali.

Inoltre è a disposizione di chiunque desideri confrontarsi e discutere di arte e cultura, mettendo in comune le proprie esperienze.



Fig.041 Immagine interno bottega dell'Arte



Fig.042 Attività interne alla Bottega dell'Arte



## CAFFETTERIA

La caffetteria è un'attività dalla forte connotazione storica; come suggerito dal nome la sua funzione essenziale è quella di servire caffè e altre bevande, oltre che dolci da accompagnare alle bevande.

Funge da luogo d'incontro per la cittadinanza, in particolare per gli studenti che frequentano gli istituti presenti nell'intorno.

Tale attività può funzionare in sinergia con gli spazi espositivi della bottega dell'arte, ospitando eventi adatti a diversi target d'età, quali presentazioni di libri, mostre di artigianato e mostre fotografiche.



Fig.043 Vista interna della Caffetteria



Fig.044 Immagini Caffetteria

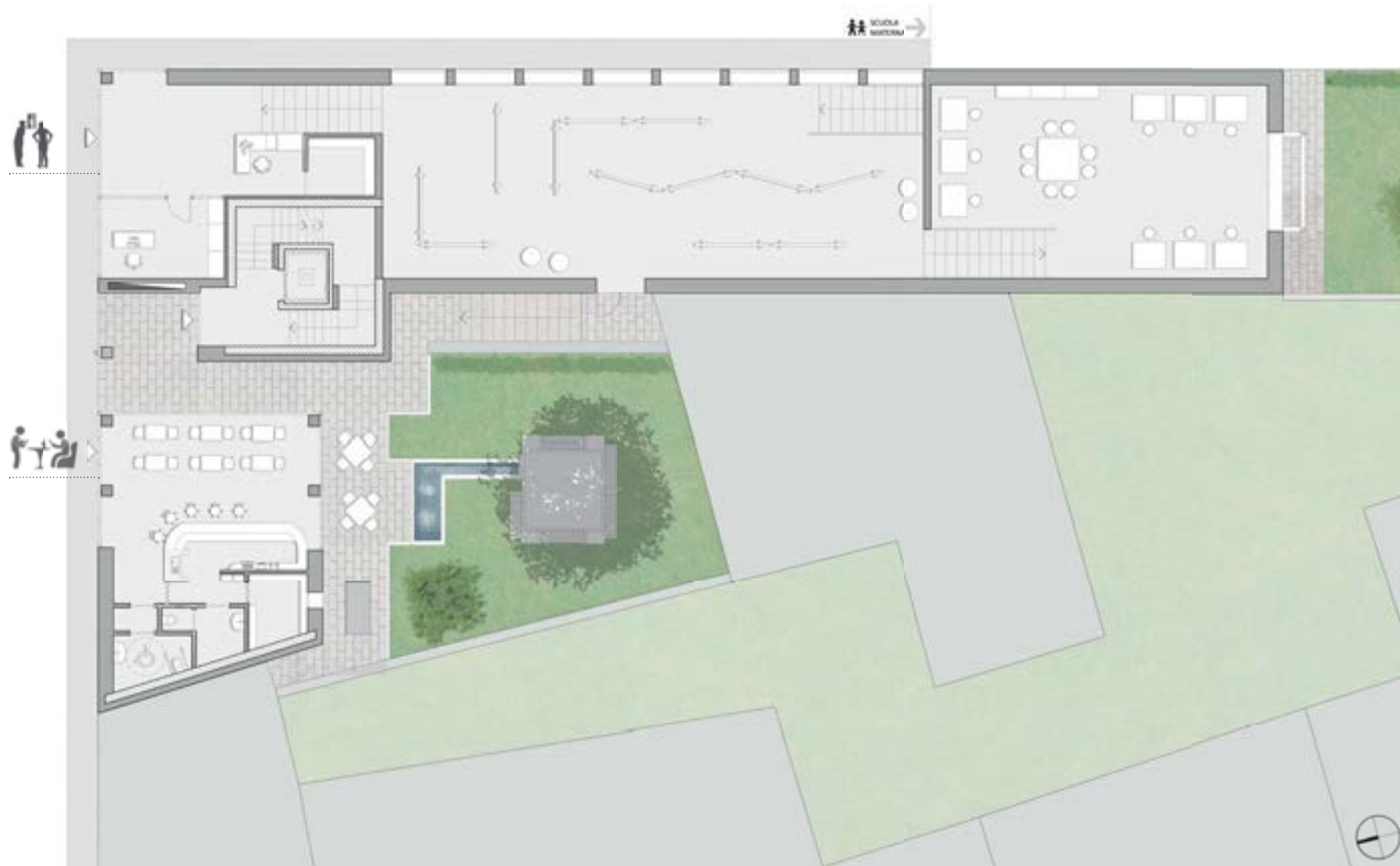


Fig.045 Pianta piano terra



## CORTE INTERNA

Si rimarca la volontà di aprire la corte interna al libero utilizzo da parte della cittadinanza, data l'importanza di tale spazio come punto di incontro e di socializzazione, sia per la residenze stesse che per il contesto.

In particolare, il passaggio di accesso alla corte permette di realizzare un ingresso coperto e protetto all'edificio.

Secondo la classificazione proposta da Kevin Lynch e Gary Hack, si tratta di uno spazio pubblico adatto ai rapporti di relazione, essendo un quadrilatero di circa 12 metri di lato; la sensazione di chiusura è mitigata dalla bassa altezza del corpo di fabbrica che delimita il lato sud.

Il tema delle componenti vegetali nella progettazione è trattato secondo due visioni: una finalizzata all'uso funzionale ed estetico, l'altra relativa alla scelta ed alla manutenzione.

Insieme al terreno, con la sua forma, e all'edificio, il materiale vegetale costituisce una componente fondamentale della progettazione dello spazio aperto; anche se a volte è inteso come elemento aggiuntivo e di abbellimento, si deve considerare fin dall'inizio lo spazio d'intervento come un insieme unico, nel quale interagiscono l'ambiente costruito e quello vegetale.

I materiali vegetali sono dinamici, cambiano cioè di dimensione, colore, tessitura, opacità a seconda delle stagioni e della crescita.

Date le dimensioni ridotte del luogo aperto, si opta per il posizionamento di un albero di grandi dimensioni come punto focale ed elemento strutturale per il progetto dell'area verde: nello specifico si sceglie una specie a foglie caduche come il Tiglio, al fine di garantire il passaggio della radiazione solare in inverno.

Un aspetto interessante del tiglio è la sua fioritura estiva, nei mesi di giugno e luglio, con la produzione di fiori molto profumati e ricchi di nettare, utile al nutrimento delle popolazioni di api: negli ultimi anni è diventata centrale la problematica della drastica riduzione nella popolazione di insetti impollinatori.

Inoltre, si posizionano delle sedute per assolvere all'esigenza di sosta e riposo in luoghi ombreggiati e protetti, nonché per realizzare spazi di conversazione.

Come ultimo aspetto è stato considerato l'utilizzo dell'acqua come elemento fondamentale nella progettazione dell'area verde: sia per il controllo microclimatico che sonoro.

Da un lato è possibile ottenere effetti di raffrescamento mediante la realizzazione di specchi d'acqua in posizione opportuna; dall'altro, trattandosi di un ambito urbano, è conveniente sovrapporre al rumore del traffico, o ad altri rumori indesiderati, il suono dell'acqua in movimento.



*Fig.046  
Immagine degli spruzzi d'acqua  
all'interno della corte*



*Fig.047 Immagine del Tiglio*





## 2.5.2 FUNZIONI RESIDENZIALI

Innanzitutto le residenze devono essere conformi alle disposizioni presenti nel Capo II del Regolamento Edilizio del Comune di Milano, "Conformazione e dotazioni delle unità immobiliari".

All'Art. 95 sono presenti i vincoli sulle altezze dei locali:

- *"l'altezza media dei locali principali non deve essere minore di 2,70 metri;*
- *l'altezza media dei locali accessori non deve essere minore di 2,40 metri;*
- *l'altezza media dei locali di servizio non deve essere minore di 2,10 metri;*
- *l'altezza minima non deve essere inferiore a 2,10 metri, gli eventuali spazi di altezza inferiore ai minimi devono, in relazione all'uso del locale, essere chiusi mediante opere murarie o arredi fissi e ne potrà essere consentito l'uso esclusivamente come ripostiglio o guardaroba o, compatibilmente con le esigenze tecniche relative, per l'alloggiamento di impianti.*
- *gli innalzamenti e i ribassamenti dovuti esclusivamente ad esigenze strutturali od impiantistiche non si computano ai fini del calcolo dell'altezza media di un locale, purché la loro proiezione in pianta non occupi una superficie superiore ad un terzo del locale, fermo restando quanto previsto per l'altezza minima."*

L'Art. 96 riporta la conformazione e la superficie minima per gli alloggi:

- *"nel rispetto di quanto previsto dall'Art. 98, gli alloggi possono avere pianta definita o pianta libera, cioè senza delimitazioni fisse;*
- *l'alloggio non può avere una superficie utile inferiore a 28 m<sup>2</sup>;*
- *nel caso di alloggi destinati fin dalla realizzazione a soggetti con disabilità motorie, la superficie utile non potrà essere inferiore a 45 m<sup>2</sup> e dovrà essere accessibile come da normativa di settore. In tal caso la realizzazione di 17 m<sup>2</sup> aggiuntivi (fino alla concorrenza dei 75 m<sup>2</sup> complessivi di superficie utile) non è soggetta a contributo di costruzione. Questa esenzione deve essere sottoposta a trascrizione sui registri pubblici; nel caso in cui l'alloggio sia venduto o comunque dato in uso a nucleo familiare senza componenti con disabilità motoria, la somma non versata, per effetto del presente Articolo, dovrà essere corrisposta all'Amministrazione Comunale."*

Le superfici utili minime per gli ambienti che compongono l'abitazione sono stabilite dall'Art. 97 e sono riportate nella seguente tabella.

Tab.003 Superfici utili minime degli ambienti residenziali, Art. 97 Regolamento Edilizio

LOCALE	SUPERFICIE UTILE MINIMA [M <sup>2</sup> ]
Camera ad un posto letto	8
Camera a due posti letto	12 (con esclusione di eventuali cabine armadio)
Soggiorno	14
Soggiorno con spazio cottura	17
Cucina	5
Locale studio	7
Bagno	Superficie necessaria ad ospitare la dotazione minima di apparecchi sanitari prevista dall'Art. 98 del Regolamento; in ogni caso tutti i bagni devono avere lato minimo di 1,20 metri

Inoltre: *"gli alloggi devono essere dotati almeno di uno spazio di cottura e di uno o più locali bagno che ospitino la dotazione minima di apparecchi sanitari"*.

Di cui all'Art. 98: *"le cucine e gli spazi di cottura devono avere le seguenti caratteristiche:*

- *pavimenti in materiale impermeabile, liscio, lavabile e resistente;*
- *soffitto di materiale traspirante;*
- *cappa aspirante, sopra l'apparecchio di cottura, atta ad assicurare la captazione e l'allontanamento di vapori, odori e fumi; sono vietati tutti gli accorgimenti tecnici che non prevedono l'allontanamento all'esterno di tali prodotti; solo in presenza di piani di cottura elettrici è ammessa l'installazione di cappe filtranti non collegate a canne di esalazione negli interventi di entità non superiori alla manutenzione straordinaria;*
- *parete ove sono ubicati il lavello ed il punto di cottura rivestiti in materiale impermeabile, liscio, lavabile e resistente realizzato anche mediante elementi di arredo."*

*I servizi igienici devono avere le seguenti caratteristiche:*

- *pavimenti e pareti sino ad un'altezza di 180 cm rivestiti in materiale impermeabile, liscio, lavabile e resistente solamente in corrispondenza degli apparecchi sanitari;*
- *soffitto di materiale traspirante;*
- *l'ambiente contenente il vaso igienico deve essere delimitato da pareti a tutt'altezza e serramenti; lo stesso dovrà essere disimpegnato dal locale cucina o da quello contenente l'angolo cottura mediante disimpegno dotato di serramenti (antibagno, corridoio/ingresso o altro locale principale-accessorio-servizio avente le medesime caratteristiche).*
- *dotazione minima di apparecchi sanitari: lavabo, doccia o vasca, water e bidet, questi ultimi realizzati anche in unico apparecchio."*

In relazione al piano soppalcato presente nella residenza ad attico, all'ultimo piano dell'edificio, si fa riferimento alle prescrizioni dell'Art. 99:

- *"l'altezza minima degli spazi sottostanti ai soppalchi non deve essere minore di 2,10 metri; la medesima altezza minima deve intercorrere tra il pavimento finito dei soppalchi e il soffitto finito dei locali. Con tali caratteristiche la superficie dei soppalchi, esclusa la scala di accesso, non deve essere superiore a un terzo di quella del locale soppalcato.*
- *qualora l'altezza come sopra definita, sia per la parte sottostante sia per la parte soprastante, sia compresa tra 2,30 m e 2,70 m, la superficie del soppalco può raggiungere un mezzo della superficie del locale soppalcato.*
- *qualora l'altezza come sopra definita, sia per la parte sottostante sia per la parte soprastante, sia pari o superiore a 2,70 m, la superficie del soppalco può raggiungere 3/4 della superficie del locale a condizione che sia la parte sottostante che la parte soprastante fruiscano di autonoma ed idonea aeroilluminazione.*
- *ove sia consentito realizzare soppalchi, le parti soprastanti devono avere il lato maggiore completamente aperto sugli spazi sottostanti e dotato di parapetto di altezza non inferiore a 1,10 m, in modo da garantire la continuità degli spazi sottostanti e sovrastanti.*
- *salvo il caso previsto al precedente punto, l'aeroilluminazione deve*

*essere verificata per la somma delle superfici del locale soppalcato e del soppalco. Nelle strutture non destinate alla residenza nel caso in cui la regolarità dell'aerazione non fosse verificata è ammessa, salvo specifiche regolamentazioni, l'integrazione con impianto di trattamento dell'aria munito delle caratteristiche previste dal vigente Regolamento Locale d'Igiene.*

- *in ogni caso, le solette del soppalco non devono limitare o ridurre la funzionalità delle superfici finestrate."*

Infine, in relazione all'illuminazione naturale, nell'Art. 105 è riportato che:

- *"l'illuminazione naturale diretta può essere del tipo perimetrale o zenitale o mista e nei locali agibili tale requisito si considera soddisfatto quando la superficie totale dell'apertura finestrata, misurata convenzionalmente alla luce architettonica detratta l'eventuale porzione ad altezza inferiore a 60 cm dal pavimento, sia pari ad almeno 1/10 della superficie di pavimento del locale interessato ed inoltre, per gli ambienti con destinazione residenziale, la distanza tra il serramento e il punto più distante da questo del pavimento di ogni singolo locale non superi 2,5 volte l'altezza da terra del punto più elevato della superficie finestrata.*
- *per distanze maggiori che comunque non devono essere superiori a 3,5 volte l'altezza, l'area complessiva delle parti trasparenti misurate come sopra non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento."*

In particolare, all'Art. 131 si specifica che *"i locali retrostanti le serre devono rispettare quanto previsto dall'Art. 105; in particolare ai fini del calcolo del rapporto aerante potranno essere conteggiati anche i serramenti che si aprono sulle serre esclusivamente qualora ricorrano tutte le seguenti condizioni:*

- *la serra sia dotata di serramenti facilmente apribili e fronteggianti il serramento che si vuole utilizzare per la verifica;*
- *la superficie dei serramenti della serra fronteggianti l'apertura che si vuole utilizzare per la verifica non sia inferiore a un decimo della somma delle superfici in pianta della serra e del locale retrostante;*
- *i serramenti della serra prospettino su spazi liberi quale vie o piazze, cortili, patii."*

In risposta alla conformazione del nucleo familiare medio milanese, sono state individuate 9 tipologie residenziali, per un totale di 15 appartamenti in tutto l'edificio di progetto.

Per ogni archetipo di residenza si riporta la superficie commerciale prevista, comprensiva di uno spazio adibito a cantina o deposito, questi collocati nei livelli interrati dell'edificio.



Innanzitutto, dato il forte incremento, avvenuto negli ultimi anni, delle persone che vivono per conto proprio fino ai 40 anni di età, sono previsti degli alloggi di tipo monolocale, per un totale di 3 unità, con una superficie di vendita pari a circa 40 m<sup>2</sup>.



In seguito, sono stati progettati dei bilocali d'angolo con doppio affaccio su via Palermo e sulla traversa di confine del lotto; tali alloggi sono conformati secondo i principi dell'accessibilità e sono adatti a tutte le fasce d'età; anche questa tipologia conta un totale di 3 unità con una superficie di vendita di circa 60 m<sup>2</sup>.



È presente anche una versione più confortevole di bilocale, con doppio affaccio nord-sud e la presenza di una serra bioclimatica; tale appartamento è pensato come accessibile e adeguato ad un'utenza di terza età, dato il forte invecchiamento della popolazione milanese; tuttavia, la superficie di 70 m<sup>2</sup> posta al terzo piano e con uno spazioso terrazzo, ricavato nello spazio di rispetto dall'edificio adiacente al lotto sul lato ovest, è perfettamente adatto a qualsiasi categoria d'utenza.



Pensati per giovani coppie con figli sono i duplex; la distribuzione verticale interna di tali alloggi avviene mediante scale a chiocciola, che permettono di contenere al minimo gli spazi distributivi, massimizzando le superfici a disposizione degli ambienti interni che raggiungono gli 80 m<sup>2</sup> nei 2 alloggi adatti a 3 persone.



Oltre alla tipologia duplex per tre persone, all'estremo sud dell'edificio, è presente un terzo alloggio, sempre distribuito su due livelli, ma di taglio maggiore, adatto a 4 persone, dotato di serra bioclimatica e di superficie di vendita pari a circa 130 m<sup>2</sup>.



Ancora adatti a contenere 3 persone, ma distribuiti su un unico livello, in risposta al progressivo invecchiamento della popolazione, sono i 2 trilocali posti nella porzione del fabbricato adiacente a via Palermo; dotati di doppio affaccio nord-sud, hanno una superficie totale di circa 75 m<sup>2</sup>.



Nella porzione di edificio rivolta a sud è presente un terzo trilocale adatto ad ospitare una famiglia di 4 persone, dotato anch'esso di serra bioclimatica, raggiunge una superficie di vendita di circa 105 m<sup>2</sup>.



Alla sommità del fabbricato, sempre della parte di progetto in direzione sud, è presente un attico di tipologia bilocale, dotato di una grande serra bioclimatica e di terrazzo-giardino; la zona giorno è a pianta libera ed estremamente personalizzabile; l'alloggio è adatto a 2 persone con una superficie di vendita che raggiunge i 120 m<sup>2</sup>.



L'edificio culmina con un grande attico su due livelli, adatto ad una famiglia di 5 o 6 componenti, dotato di salone con vista panoramica su via Palermo e il centro cittadino, di un grande terrazzo-giardino verso sud, e di un solarium coperto dall'esteso aggetto del tetto a falde, sfrangiato verso ovest e che protegge il terrazzo dall'intensa radiazione solare estiva nelle ore pomeridiane e fino a sera. La superficie commerciale in questo caso è di circa 230 m<sup>2</sup>.

Come si osserva nella piante riportate di seguito, le diverse taglie di alloggio sono distribuite nell'edificio evitando la formazione di blocchi separati; ciò è dovuto alla finalità del progetto, precedentemente enunciata, di favorire i rapporti di interrelazione evitando fenomeni di segragazione sociale.





Fig.048 Pianta del piano primo

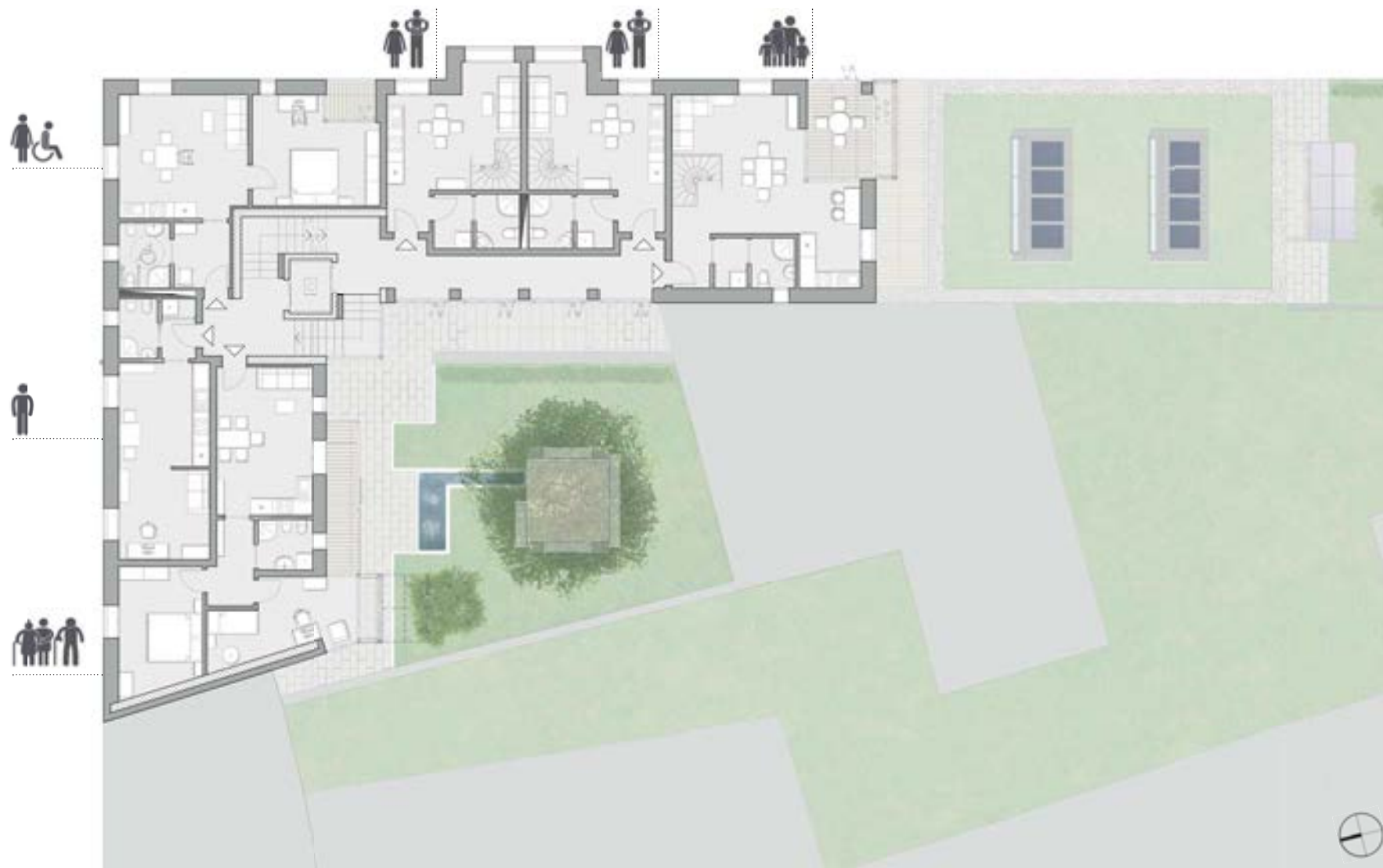


Fig.049 Pianta del piano secondo



Fig.050 Pianta del piano terzo

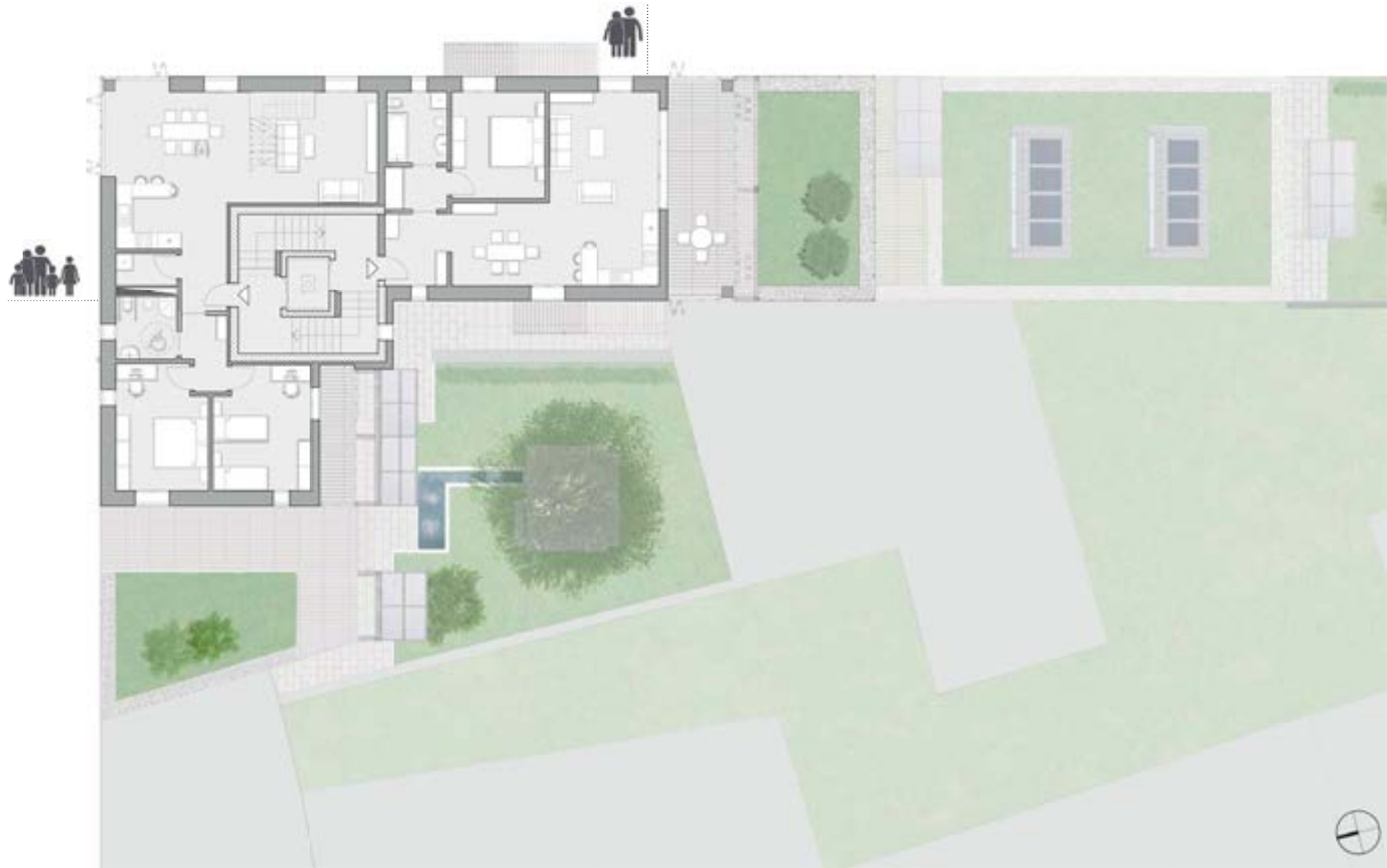


Fig.051 Pianta del piano quarto





Fig.052 Pianta del piano soppalco

Complessivamente l'edificio è composto da due livelli interrati, limitatamente al fronte su via Palermo, un basamento pubblico, quattro piani residenziali e, in corrispondenza della copertura a falde, un piano soppalco.

In particolare, a seguito degli studi sul soleggiamento, la porzione di fabbricato adiacente alla traversa di via Palermo e con orientamento nord-sud è stata ribassata di 1,9 metri, realizzando un dislivello rispetto ai piani su via Palermo, che mantengono gli allineamenti caratterizzanti la cortina edilizia.

#### LIVELLO -2

Posto a quota -6,80 metri rispetto al piano stradale, è realizzato per la sola porzione di edificio rivolta su via Palermo; vi sono posizionate le cantine, o locali magazzino, a servizio delle residenze.

#### LIVELLO -1

Si trova a quota -3,40 metri dal piano stradale; è composto da due parti distinte: la prima in corrispondenza del livello inferiore lungo via Palermo e contenente locali cantina e il locale tecnico, quest'ultimo dotato di bocca di lupo verso la corte interna per i necessari ricambi d'aria; la seconda è realizzata al di sotto della porzione di fabbricato limitata ad un solo piano fuori terra, a sud del lotto, e contiene i locali di servizio per la funzione pubblica alla quale tale superficie è connessa.

#### LIVELLO 0

A partire da questo piano è presente il dislivello di 1,90 metri, precedentemente descritto. Il fronte nord su via Palermo è posto a quota del piano stradale, come anche la parte terminale a sud costituita da un unico piano fuori terra; mentre la porzione centrale, che in questo livello contiene il principale spazio espositivo della funzione pubblica - Bottega dell'Arte, risulta ribassata nei confronti del medesimo piano stradale.

Tale piano presenta, sul fronte di via Palermo, il locale Caffetteria, il passaggio aperto verso la corte interna, che realizza l'ingresso coperto alle residenze, e l'entrata alla Bottega dell'Arte, con lo spazio reception e guardaroba e l'ufficio direzionale.

Il fabbricato edificabile solo per il piano terreno contiene, inoltre, gli spazi didattici e di laboratorio artistico della Bottega dell'Arte; tale ambiente è illuminato con luce zenitale proveniente dai lucernari ricavati nella copertura piana a giardino.

#### LIVELLO 1

Al primo piano, situato ad una quota di 3,80 metri, 1,90 metri per il livello sfalsato, sono poste, così come nei piani successivi, le residenze.

In particolare, il livello sfalsato presenta le zone notte delle tipologie duplex, mentre il livello su via Palermo ospita una commistione di diverse tipologie: un monolocale, un bilocale d'angolo e un trilocale con doppio affaccio nord-sud.

#### LIVELLO 2

Questo piano, a quote 7,50 metri e 5,60 rispettivamente, presenta la stessa disposizione in pianta del livello sottostante, a parte nel caso dei duplex, ove sono delineate le zone giorno.

#### LIVELLO 3

A quota 11,20 metri, 9,30 metri al dislivello, è caratterizzato dall'arretramento rispetto alle superfici finestrate dell'edificio nel lotto adiacente; pertanto contiene nel fronte nord due bilocali, mentre nel fronte sud, anch'esso arretrato a formare dei terrazzamenti, sono disposti un monolocale ed un trilocale.

#### LIVELLO 4

Nelle sommità dell'edificio, a quote 14,60 e 13,00 metri, sono realizzati due attici, uno di tipo bilocale, uno a due livelli con un piano soppalco a quota 17,60 metri.

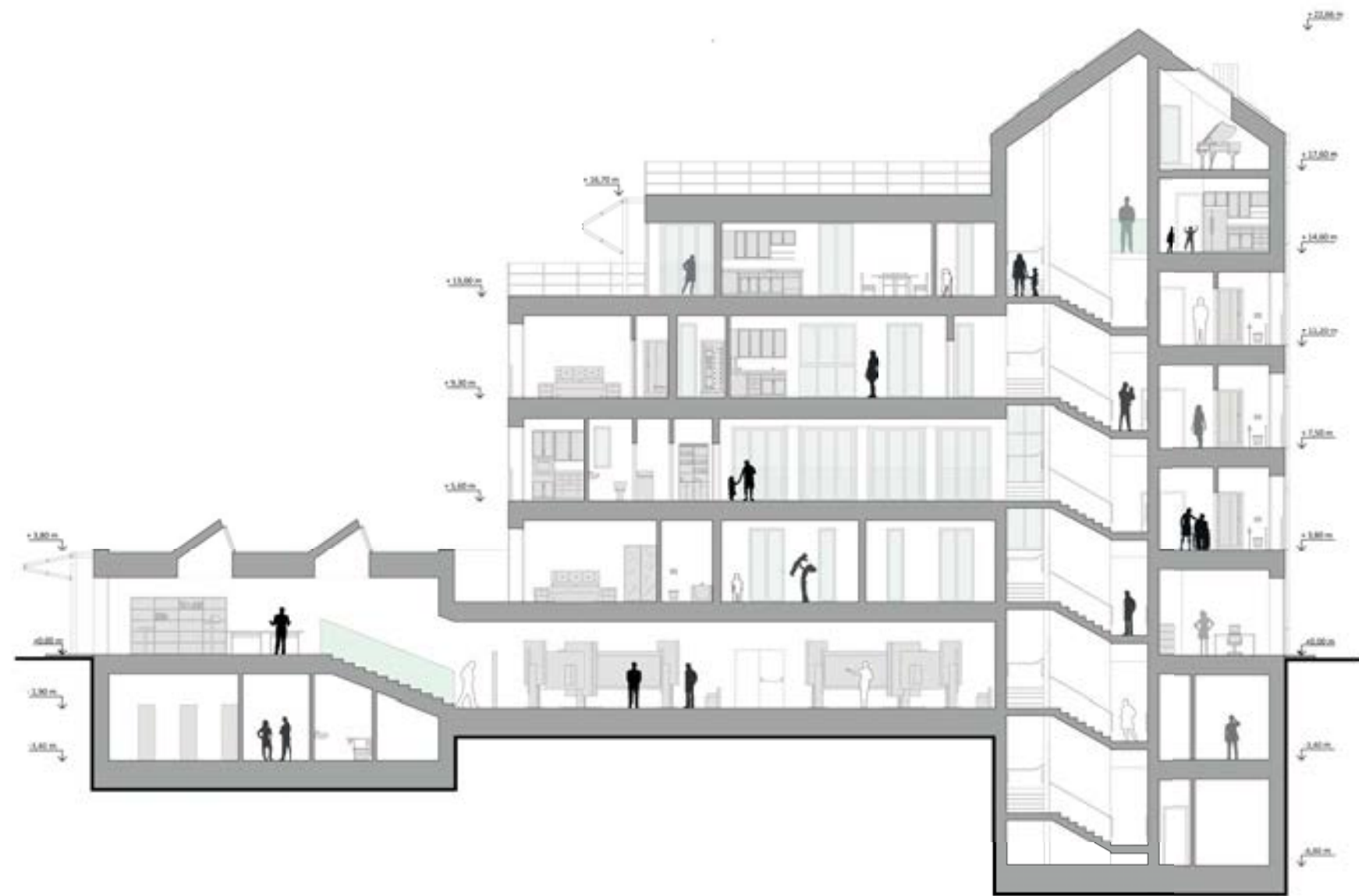


Fig.053 Sezione architettonica longitudinale in direzione nord-sud

### 2.5.3 LE TIPOLOGIE RESIDENZIALI

- MONOLOCALE

Lo spazio d'ingresso funge da filtro tra il bagno e l'ambiente principale, suddiviso in un'area giorno con spazio cottura molto luminosa con aperture a sud-est, opportunamente schermate, e una zona notte più intima.

	LOCALE	AREA [m <sup>2</sup> ]
M3	Ingresso	4,55
	Bagno	4,80
	Zona Giorno	13,50
	Zona Notte	12,45
	Terrazzo	3,45
<b>Totale Superficie</b>		<b>38,75</b>

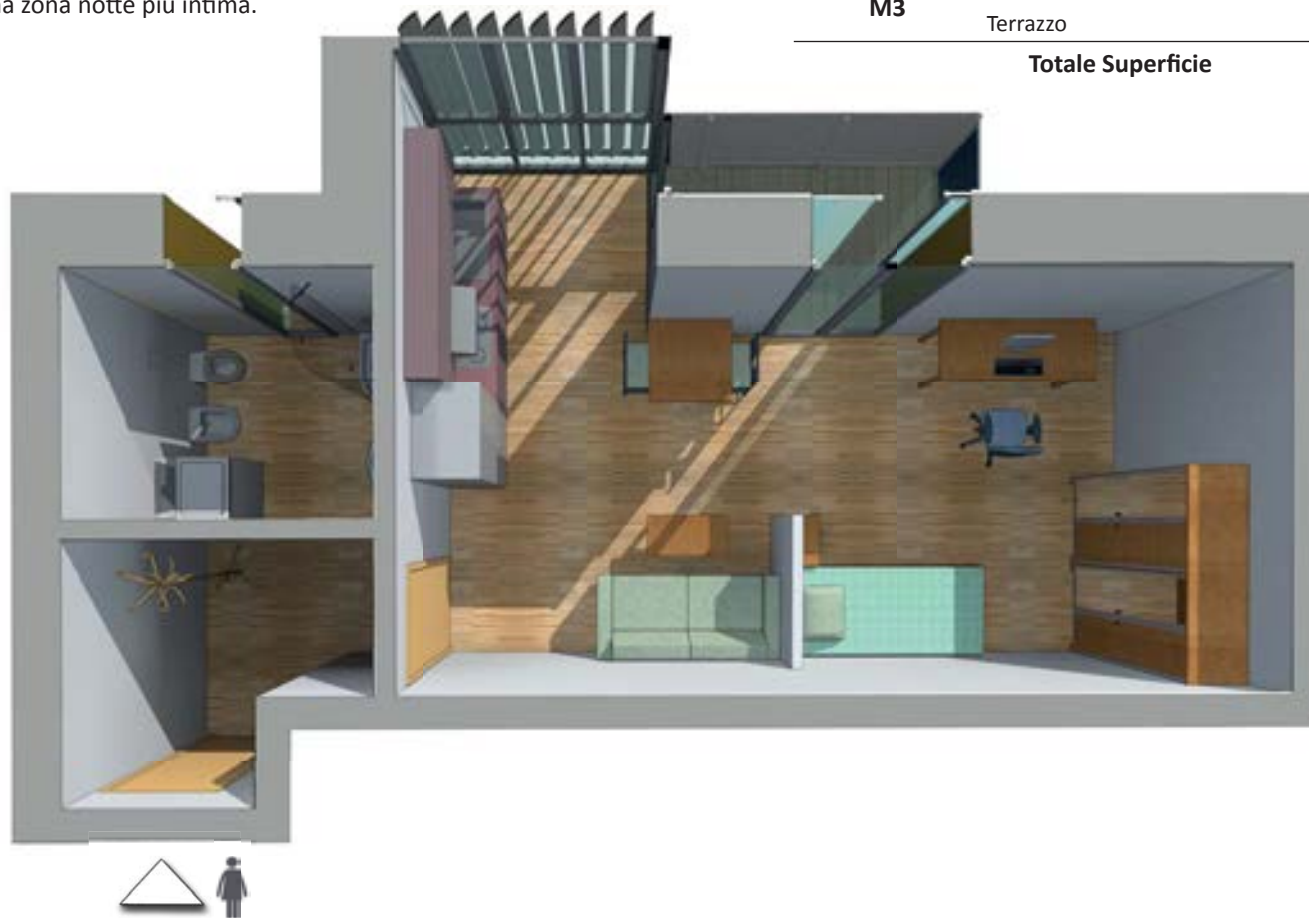


Fig.054 Vista dall'alto della tipologia monocale





- BILOCALE



	LOCALE	AREA [m <sup>2</sup> ]
 <b>B3</b>	Ingresso	4,90
	Bagno	4,45
	Zona Giorno	20,75
	Camera Matrimoniale	16,80
	Terrazzo	2,40
<b>Totale Superficie</b>		<b>49,30</b>

Anche in questo caso lo spazio d'ingresso è utilizzato come un filtro prima della zona giorno; questa, dotata di angolo cottura, è caratterizzata da un doppio affaccio su via Palermo e sulla traversa a confine del lotto di progetto. Dal soggiorno si passa alla camera matrimoniale, servita da un comodo terrazzo protetto all'interno della sagoma dell'edificio.



Fig.055 Vista dall'alto della tipologia bilocale



- TRILOCALE

All'ingresso è posta la zona giorno che apre su un balcone in aggetto sulla corte interna; dal soggiorno si accede allo spazio distributivo della zona notte sul quale si aprono il bagno, la camera matrimoniale, posta sul fronte nord, e la camera singola con parete vetrata a sud verso la corte giardino.

Le vetrate a sud sono opportunamente protette da schermature solari mobili, per evitare fenomeni di abbagliamento ed eccessivi apporti termici all'interno degli ambienti.

	LOCALE	AREA [m <sup>2</sup> ]
	Ingresso - Zona Giorno	18,60
	Corridoio	4,85
	Bagno	3,90
	Camera Singola	13,60
	Camera Matrimoniale	13,90
<b>T2</b>	Terrazzo	6,40
	<b>Totale Superficie</b>	<b>61,25</b>




Fig.056 Vista dall'alto della tipologia trilocale





- DUPLEX



	LOCALE	AREA [m <sup>2</sup> ]
	Disimpegno	3,90
	Camera Doppia	19,70
	Camera Matrimoniale	15,60
	Bagno Padronale	5,25
	Terrazzo	14,80
	Ingresso - Zona Giorno	32,65
 <b>D3</b>	Antibagno	2,35
	Bagno	3,10
	Serra Bioclimatica	8,30
	<b>Totale Superficie</b>	<b>105,65</b>



L'ingresso è posto al piano superiore, dove è disposto il soggiorno con angolo cottura, con una serra bioclimatica sul fronte sud, opportunamente schermata da un sistema mobile di protezione dalla radiazione solare; a questo piano è anche presente un bagno di servizio con relativo spazio filtro.

Al piano inferiore, cui si accede tramite una scala a chiocciola, si trova la zona notte con una camera matrimoniale ed una camera doppia, servite dal bagno principale della residenza.

Fig.057 Vista dall'alto della tipologia duplex





- ATTICO

L'ingresso della residenza ad attico è posto al piano quarto, da qui si distribuisce sulla destra la zona giorno, mentre sulla sinistra è presente la zona notte. Questo livello è completamente accessibile, nei rispetti del *Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n. 236 del 14 giugno 1989*.

Alla zona notte si accede attraverso un corridoio di distribuzione, che funge da spazio filtro per l'ambiente del bagno; a questo piano sono presenti una camera matrimoniale, rivolta a nord-ovest, e una camera doppia, rivolta a sud-ovest e dotata di serra bioclimatica; quest'ultima sempre schermata dal sistema mobile di protezione dalla radiazione solare che forma, una volta abbassato, una "seconda pelle" per l'edificio, favorendo la ventilazione naturale per effetto camino.

La zona giorno è suddivisa dalla scala che porta al livello soppalcato in due ambienti: una sala pranzo, completa di cucina attrezzata con penisola, dotata di una grande apertura con visuale panoramica su via Palermo e il centro cittadino; un salotto che si trova in corrispondenza della doppia altezza verso il piano soppalco e che è illuminato con luce zenitale proveniente dalle finestre poste in copertura.

Mediante la scala a "L" si accede al piano soppalco che dispone di uno spazio aperto sul salotto sottostante, un bagno di servizio e una stanza, utilizzabile come camera singola o come studio.

Dallo spazio aperto del soppalco, che può ospitare un'area studio, di gioco o di relax, è possibile uscire sullo spazioso terrazzo-giardino verso sud, oppure sul terrazzo-solarium verso ovest; quest'ultimo protetto dalla copertura a falde aggettante che scherma, almeno per i primi due metri dalla parete, sia la radiazione solare estiva che gli eventi meteorici.

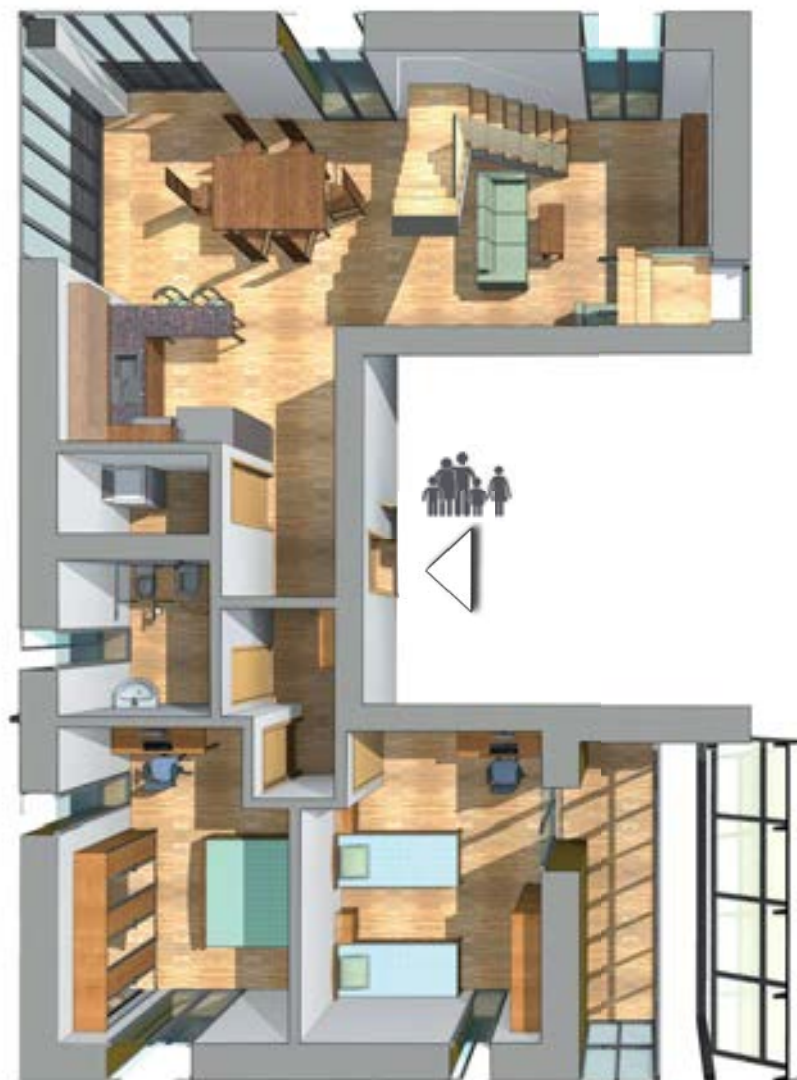



Fig.058 Vista dall'alto della tipologia attico, livello d'ingresso





Fig.059 Vista dall'alto della tipologia attico, livello soppalco

	LOCALE	AREA [m <sup>2</sup> ]
	Ingresso - Zona Giorno	48,50
	Ripostiglio	2,65
	Corridoio	4,25
	Bagno	5,10
 <b>A2</b>	Camera Matrimoniale	14,70
	Camera Doppia	15,65
	Serra Bioclimatica	6,40
	Camera Singola	11,10
	Locale Studio	35,80
	Bagno	5,45
	Tetto Giardino	100,00
	Terrazzo	46,30
	<b>Totale Superficie</b>	<b>295,90</b>



## 2.6 PROSPETTI ARCHITETTONICI

Nell'immagine sotto riportata si osserva l'inserimento del prospetto nord dell'edificio di progetto all'interno della cortina edilizia esistente.

Sono evidenziate le corrispondenze dimensionali e gli allineamenti degli elementi di facciata, mantenendo le caratteristiche formali sottolineate dall'utilizzo diversificato dei materiali, proprio degli edifici ottocenteschi adiacenti.

Dato che l'edificio preesistente sul lotto confinante è stato edificato, secondo le consuetudini dell'epoca, non rispettando le attuali norme del Regolamento Edilizio, sono state fatte opportune considerazioni sui livelli dei piani di progetto, con la necessità di dover mantenere costanti le altezze interne dei locali di nuova realizzazione.



Fig.060 Allineamenti della cortina edilizia sul fronte Nord di progetto

## MATERIALI: CORTEN

Il primo materiale che si incontra, a livello stradale, è quello che costituisce il basamento dell'edificio di progetto e che demarca le funzioni pubbliche: Bottega dell'Arte e Caffetteria.

Per assolvere a questa funzione di rappresentanza si è scelta una finitura esterna in pannelli sandwich in acciaio CorTen, di lunghezza massima di 5 metri e disposti in fasce orizzontali di altezza pari a 95 cm.

In questo modo si instaura un parallelismo formale con il basamento in pietra tipico del costruito esistente; tuttavia la tonalità cromatica ossidata, che si forma sulla superficie del materiale, appare calda e intensa e presenta buone qualità estetiche, dovute ad una sorta di percezione di eleganza che sottolinea la sensazione di vissuto data dai segni del tempo.



*Fig.061  
Immagine pannelli in acciaio CorTen*



*Fig.062 Immagine pannelli in fibrocemento*

## MATERIALI: FIBROCEMENTO

A denotare i volumi residenziali, è stato scelto un sistema di facciata in pannelli di fibrocemento, dalla colorazione calda nelle tonalità dell'ocra e del bordò, in concordanza estetica con l'acciaio CorTen del basamento.

Il materiale scelto è caratterizzato da elevate affidabilità e durabilità; nonchè per la sua resistenza al fuoco, ad ampie oscillazioni termiche e ai cicli di gelo e disgelo. I pannelli, di dimensioni 3050x1200 e 2500x1200 mm, sono disposti con andamento verticale e ad allineamenti sfalsati, con fissaggio a scomparsa, al fine di dare slancio e movimentazione al volume di progetto.

## MATERIALI: LEGA DI ZINCO-TITANIO

Come finitura esterna della copertura e dei parapetti, è stata scelta la lega di zinco-titanio in colore grigio-ardesia chiaro, in forma di lamiera graffiata con passo di 30 cm, per rimarcare la corrispondenza degli allineamenti caratteristici di facciata.

In definitiva è stata realizzata una sorta di inversione cromatica rispetto alle consuetudini del contesto, caratterizzato dai toni freddi della pietra nei basamenti e dai toni caldi delle coperture in cotto.



*Fig.063  
Immagini lega di zinco-titanio*





## PROSPETTO NORD

In questo prospetto sono presenti gli ingressi, su via Palermo, delle funzioni pubbliche della Bottega dell'Arte e della Caffetteria, nonché il passaggio coperto verso la corte interna che la mette in comunicazione con la città e la rende

liberamente usufruibile dai passanti; al tempo stesso questa connessione fa da ingresso coperto per le residenze.

Si nota l'aggetto della copertura a falde che si sfrangia verso ovest, in prosecuzione ideale del volume di progetto, sopra il vuoto non edificato a causa delle restrizioni urbanistiche sulle distanze di rispetto dal fronte finestrato dell'edificio adiacente.



Fig.064 Prospetto Nord di progetto

## PROSPETTO EST

Questo prospetto fronteggia la traversa di via Palermo che funge da ingresso alla scuola dell'infanzia; si caratterizza per il volume digradante verso sud che costituisce una serie di terrazze-giardino.

Si notano i sistemi di schermatura solare mobile, in corrispondenza delle serre bioclimatiche; tali schermature, una volta abbassate, costituiscono una seconda facciata per l'edificio, instaurando sotto l'azione della radiazione solare una ventilazione per effetto camino che provvede ad asportare parte del calore accumulato.



Fig.065 Prospetto Est di progetto

## PROSPETTO SUD

Qui si nota la presenza della corte interna al lotto, sulla quale si affaccia lo spazio della Caffetteria, nonché i balconi delle residenze; l'ombreggiamento estivo è garantito dal posizionamento di un grande albero a foglie caduche, quale il Tiglio.

Si è scelto di ottimizzare le aperture e le schermature in modo da mantenere i guadagni solari invernali ma da proteggere il più possibile le parti trasparenti dalla radiazione solare estiva.

Ai fini della strategia energetica adottata, si riscontra la presenza dei pannelli solari ibridi in copertura e delle serre bioclimatiche.



Fig.066 Prospetto Sud di progetto



PROSPETTO OVEST

Si osserva nuovamente la presenza della corte interna, nel suo sviluppo longitudinale, e della digradazione dei terrazzi-giardino verso sud, i quali forniscono agli appartamenti retrostanti libere visuali sullo skyline del centro storico milanese; il paesaggio è caratterizzato da edifici di altezza contenuta e, conseguentemente, da una vista ampia che raggiunge anche scorci di architetture di pregio presenti nel contesto limitrofo.

Fig.067 Prospetto Ovest di progetto







# CAPITOLO 3 - ANALISI ILLUMINOTECNICA

3.1 **FONDAMENTI DI ILLUMINOTECNICA**

3.2 **STUDIO DEL SOLEGGIAMENTO**

3.3 **ILLUMINAMENTO DELLE RESIDENZE**

3.3.1 ALLOGGIO MONOLOCALE

3.3.2 ALLOGGIO BILOCALE

3.3.3 ALLOGGIO TRILOCALE

3.3.4 ALLOGGIO DUPLEX

3.3.5 ALLOGGIO ATTICO

## PREMESSA

Nel terzo capitolo si sviluppa il tema della luce.

L'area di progetto, come già specificato, si colloca in un vuoto urbano nel cuore della città milanese, contraddistinta da un'elevata densità del costruito.

Il lotto di progetto, situato in prossimità di edifici caratterizzati da un'altezza media pari a cinque piani fuori terra, subisce l'ombreggiamento di questi ultimi per la maggior parte delle ore durante il giorno.

Inoltre la forma imposta all'edificio di progetto è causa essa stessa di ombre autoportate, che riducono sostanzialmente il soleggiamento della corte interna.

Per questo motivo, in primo luogo sono state svolte analisi sugli aspetti morfologici della costruzione, massimizzando gli apporti solari agli ambienti interni.

In seguito, si sono studiate in dettaglio le condizioni di luminosità interna per le tipologie residenziali progettate, con particolare attenzione ai casi più sfavorevoli; ad ogni modo si è sempre rispettato il limite, imposto dalla normativa, di un valore medio del fattore di luce diurna non inferiore al 2%



### 3.1 FONDAMENTI DI ILLUMINOTECNICA

La progettazione della luce negli edifici è fondamentale in quanto consente di migliorare la qualità percettiva degli spazi in relazione alle caratteristiche stesse dell'ambiente e alle predisposizioni e ai desideri di chi ne usufruisce.

La luce è un elemento compositivo dello spazio costruito e degli ambiti esterni, ma è anche un elemento importantissimo per rendere gli ambienti più piacevoli in termini di comfort e qualità abitativa.

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.

L'illuminotecnica è la scienza che si occupa di illuminazione naturale e artificiale, con lo scopo di assicurare all'uomo adeguate condizioni visive, in particolare l'illuminazione naturale utilizza fonti rinnovabili di energia quale il sole, consentendo notevoli risparmi energetici e benefici per l'ambiente.

La branca dell'illuminotecnica che si occupa di studiare le grandezze fondamentali che si utilizzano per misurare l'energia radiante emessa o ricevuta da una superficie in relazione alle sensazioni prodotte sull'individuo attraverso l'occhio si chiama *fotometria*, che quantifica la luce non in termini assoluti ma in termini di stimolazione visiva.

La radiazione luminosa è composta dalle onde elettromagnetiche che l'occhio umano è in grado di percepire chiaramente, ovvero quelle che hanno una lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) nel vuoto compresa tra 400 e 780 nanometri (nm).

Di conseguenza, la luce è una sensazione soggettiva prodotta dall'interazione di queste radiazioni con l'apparato visivo: 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).

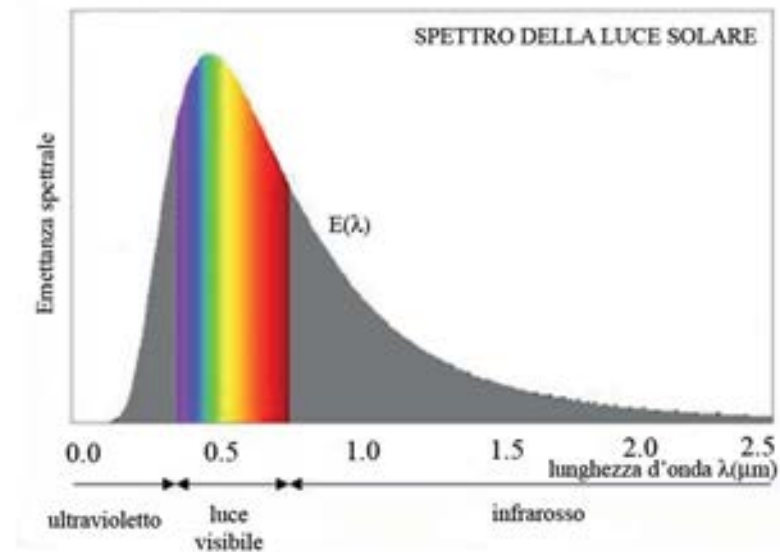


Fig.001 Spettro della radiazione solare

Le grandezze fotometriche misurano quindi la quantità di energia radiata nello spettro visibile non in maniera assoluta ma in maniera relativa rispetto alla sensibilità spettrale dell'occhio.

Le grandezze fondamentali per la misurazione della luce sono:

- *flusso luminoso  $\Phi$  [lm]*

Indica la quantità di energia emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo; viene normalmente identificato con il simbolo " $\Phi$ " e viene misurato in lumen (lm). Si definisce lumen il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 cd in tutte le direzioni.

- *intensità luminosa  $I$  [cd]*

Viene utilizzata per indicare la quantità di energia luminosa emessa in una specifica direzione. Si definisce intensità luminosa "I" il rapporto tra il flusso luminoso infinitesimale emesso da una sorgente entro un angolo solido e lo stesso angolo solido.

- *illuminamento  $E$  [ $lx=lm/m^2$ ]*

È una grandezza fondamentale nel calcolo illuminotecnico per sorgenti di luce sia naturale che artificiale. In particolare, un corretto studio dell'illuminamento naturale all'interno degli ambienti confinati apporta benefici sulle condizioni di comfort visivo e riduce in modo significativo l'energia impiegata per l'illuminazione artificiale.

L'illuminamento "E" misura la quantità di energia luminosa che investe una determinata superficie.

Esso è dato dal rapporto tra il flusso luminoso misurato in lumen [lm] incidente su una superficie e l'area della stessa [ $m^2$ ].

L'unità di misura di questa grandezza è il lux (lx).

I livelli di illuminamento naturale entro i quali è possibile la visione variano da qualche centesimo di lux (notte) a diverse decine di migliaia di lux (pieno sole), in funzione della capacità di adattamento dell'occhio umano.

L'illuminamento medio ( $E_m$ ) su una superficie è dato quindi dal rapporto tra il flusso luminoso ( $\Phi$ ) emesso da una determinata sorgente e la superficie ricevente (A).

$E_m = \Phi/A = lm/m^2 = lux (lx)$  un lux è quindi l'illuminamento prodotto da un flusso di un lumen distribuito in modo uniforme su una superficie di  $1m^2$

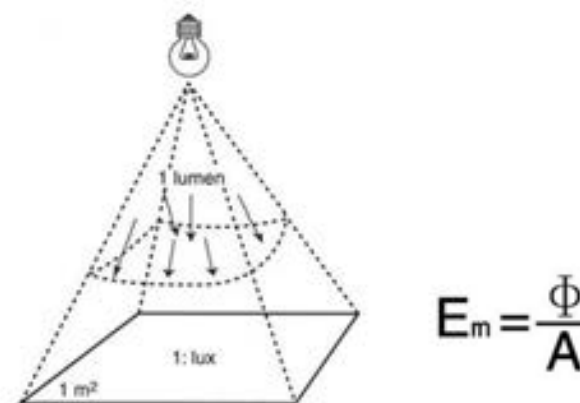


Fig.002 Definizione di illuminamento medio

Progettando correttamente con la luce naturale si fornisce all'utente finale un luogo confortevole dove svolgere la propria attività: la variabilità della luce naturale durante il giorno rappresenta infatti uno stimolo positivo sia dal punto di vista biologico che psicologico. Inoltre per lo svolgimento di attività specifiche nei locali, vi sono dei valori di illuminamento consigliati secondo lo standard internazionale CIE per un adeguato comfort visivo: è importante quindi confrontarsi con i valori suggeriti e valutare la giusta quantità di luce.

I benefici di un'illuminazione naturale adeguata nei locali non sono solo psicologici, ma la luce naturale può anche ridurre in modo sostanziale i carichi termici ed elettrici di picco nei locali, comportando notevoli risparmi ed una minore necessità di produzione di energia elettrica.

- *luminanza L [cd/m<sup>2</sup>]*

Esprime l'entità della luce emessa da una sorgente di dimensioni estese nella direzione dell'osservatore. La luminanza è una grandezza fotometrica vettoriale definita come il rapporto tra l'intensità luminosa di una sorgente nella direzione di un osservatore e la superficie emittente apparente, ossia così come viene vista dall'osservatore stesso.

La grandezza è indicativa dell'abbagliamento che può indurre una sorgente.

Una lampadina di piccole dimensioni, per esempio con una superficie di emissione di un centimetro quadro e con intensità di una candela, ha una luminanza di 10.000 cd/m<sup>2</sup>.

Un'altra lampadina con pari intensità ma con superficie di cento centimetri quadrati ha una luminanza di 1 cd/m<sup>2</sup>.

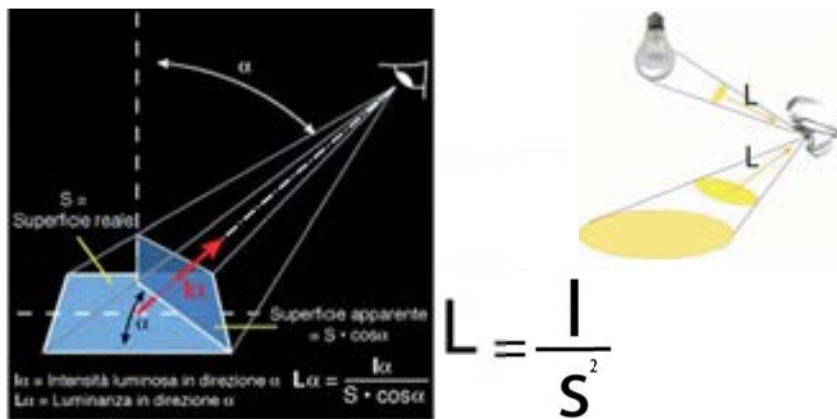


Fig.003 Definizione di luminanza

$$L = dI / (dA \cos \beta) = \text{cd/m}^2$$

( $\beta$  è l'angolo compreso tra la normale alla superficie emettente e l'osservatore)

Ad intensità costante, se diminuisce la superficie aumenta la luminanza.

Il rapporto tra la luminanza di una sorgente e quella dello sfondo è detto fattore di contrasto o contrasto di luminanza.

### 3.1.1 COMFORT LUMINOSO

Esistono differenti livelli di illuminazione consigliabili per spazi differenti in base a degli standard e delle linee guida che sono adoperati in molti Paesi.

Tali livelli dipendono da molti fattori tra cui il tipo di sistema di illuminazione e le attività che si svolgono in un dato spazio.

Inoltre va ricordato che la casa è quanto di più personale possa appartenere a ciascuno di noi e quindi le preferenze personali possono costituire un fattore fondamentale per la determinazione del livello di illuminazione.

L'illuminazione naturale è importante per diversi aspetti che possono sintetizzarsi nel benessere fisiologico e psicologico degli individui, oltre che nel risparmio energetico, riducendo la necessità nell'uso dell'illuminazione artificiale.

In generale gli stili e i livelli di illuminazione che si decide di adottare sono accettabili fintanto che soddisfano i concetti di illuminazione di base e comunque non devono provocare fastidio agli occhi o abbagliamenti.

I principali problemi legati all'illuminazione naturale sono:

- surriscaldamento estivo e insolazione diretta
- abbagliamento
- continua variazione d'intensità
- impossibilità di controllare le ombre
- inadeguata penetrazione in profondità della luce
- ombre portate da ostruzioni esterne

I vantaggi sono:

- beneficio psicologico ed emotivo per le persone
- variabilità in funzione del moto del sole
- preferenza per la luce naturale da parte degli occupanti
- riduzione dei consumi energetici
- guadagni solari passivi durante l'inverno

Il comfort luminoso può essere determinato attraverso differenti parametri, tra i quali vi è il fattore medio di luce diurna (FLDm).

L'FLDm è un parametro introdotto per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato.

Esso è attualmente riconosciuto dalla normativa italiana:

- dal *Decreto Min. Sanità 5/7/75*

(modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione);

- dal *Decreto Min. 18/12/75*

(norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica);

- dalla *Circ. Min. Lavori Pubblici n.13011, 22/11/74*

(requisiti fisico tecnici per le costruzioni edilizie: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione, in particolare è prioritario per garantire un'illuminazione diurna ottimale nei locali).

All'interno di un ambiente chiuso, l'illuminamento naturale nei diversi punti di uno spazio interno è costituito da tre componenti:

- l'apporto di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne tra cui la volta celeste e il sole;
- l'apporto di luce dovuto alle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane esterne;
- l'apporto di luce dovuto alle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente.

Nella valutazione delle condizioni di illuminazione naturale interna si considera il caso più sfavorevole che si verifica in assenza di radiazione solare diretta.

Posto il cielo coperto come condizione ottimale di valutazione, il rapporto tra illuminamento interno ed esterno deve essere costante e non deve dipendere né dall'ora del giorno, né dal periodo dell'anno, né dall'orientamento del locale, si introduce quindi il fattore di luce diurna.

FLD è una grandezza adimensionale espressa in percentuale, definita come il rapporto fra l'illuminamento misurato in un punto specifico dell'ambiente interno e l'illuminamento misurato all'esterno su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzioni in condizioni di cielo coperto.

Per non limitare il calcolo su un unico punto viene utilizzato il fattore medio di luce diurna (FLDm), dove per medio si intende mediato su più punti di misura dell'ambiente interno in rapporto con l'esterno, in questo modo è possibile valutare meglio l'illuminazione globale nel locale confinato.

Allo scopo di rispettare sempre un livello minimo di illuminamento interno, la normativa *UNI 10840*, prescrive per ogni destinazione d'uso un livello minimo di FLD da rispettare. Questi valori richiesti dalla normativa possono variare in funzione delle varie destinazioni d'uso dei locali, vi sono comunque dei valori di soglia al di sotto dei quali non sono verificate le condizioni di illuminazione naturale sufficienti alle specifiche esigenze.

Rispettare il fattore medio di luce diurna significa distribuire correttamente le finestre e valutarne la capacità di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli nell'ambiente confinato.

Uno schema di valutazione indicativo può essere il seguente:

- $FLDm < 1\%$  = insufficiente
- $1\% < FLDm < 2\%$  = discreto
- $2\% < FLDm < 4\%$  = buono
- $FLDm > 4\%$  = ottimo



Per il calcolo del fattore medio di luce diurna tratto dalla norma *UNI 10840* si può utilizzare la seguente formula riferita ad un modello semplificato dell'ambiente:

$$\eta_m = \frac{A_f \cdot t}{A_{tot} (1 - r_m)} \cdot \frac{E_{0v}}{E_0} \cdot \psi$$

E considerando che:

$$\varepsilon = \frac{E_{0v}}{E_0}$$

Si ottiene:

$$\eta_m = \frac{A_f \cdot t \cdot \varepsilon}{A_{tot} (1 - r_m)} \cdot \psi$$

Dove:

$E_0$ : è l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto;

$E_{0v}$ : è l'illuminamento esterno sulla superficie vetrata verticale;

$A_f$ : è l'area della superficie della finestra, escluso il telaio;

$t$ : è il fattore di trasmissione luminosa del vetro;

$\varepsilon$ : è il fattore finestra, rappresentativo della posizione di volta celeste vista dal baricentro della finestra;

$\varepsilon = 1,0$  per finestra orizzontale (lucernario) senza ostruzioni

$\varepsilon = 0,5$  per finestra verticale senza ostruzione

$\varepsilon < 0,5$  per finestra verticale con ostruzione

$A_{tot}$ : è l'area totale delle superfici che delimitano l'ambiente;

$r_m$ : è il fattore medio di riflessione luminosa delle superfici che delimitano l'ambiente;

$\psi$ : è il fattore di riduzione del fattore finestra.

Determinazione del fattore finestra  $\varepsilon$

Legenda

$h$ : Altezza della finestra dal piano stradale

$H$ : Altezza del fabbricato contrapposto

$l_a$ : Larghezza della strada

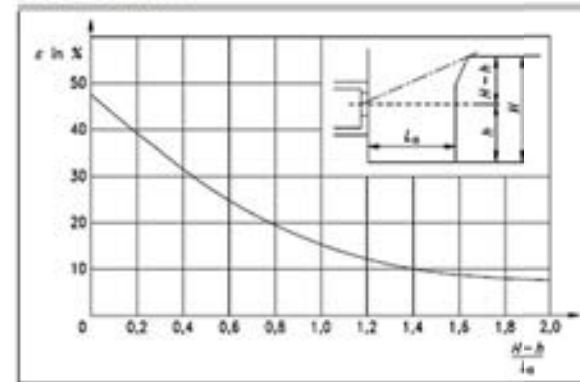


Fig.004 Determinazione del fattore finestra  $\varepsilon$

Determinazione del fattore di riduzione  $\psi$

Legenda

$l_f$ : Larghezza della finestra

$h_f$ : Altezza della finestra

$p$ : Distanza tra finestra ed il bordo esterno della parete

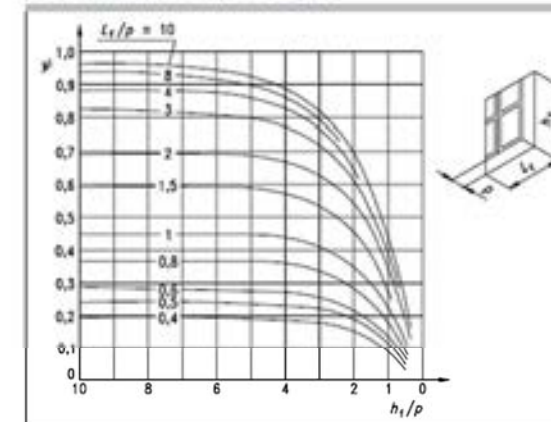


Fig.005 Determinazione del fattore di riduzione  $\psi$

### 3.2 STUDIO DEL SOLEGGIAMENTO

In fase di definizione del layout interno e della conseguente conformazione del volume di progetto, è importante eseguire un'analisi sull'esposizione alla luce naturale in diversi punti dell'edificio, individuando quali sono le criticità in relazione allo sfruttamento degli apporti solari.

Il basamento è connotato dalla presenza di funzioni al pubblico, di cui quella dalle esigenze più restrittive in fatto di illuminamento degli ambienti interni è la Bottega dell'Arte, con la sua sala espositiva e il laboratorio didattico.

La posizione al piano terreno in un ambiente urbano densamente costruito si rivela particolarmente svantaggiata al fine di garantire una buona esposizione alla luce naturale; pertanto risulta inevitabile ricorrere al contributo dell'illuminazione artificiale.

La porzione di edificio all'estremo sud, edificabile per un solo piano fuori terra, rappresenta l'unica opportunità di ottenere un ambiente dai buoni apporti di luce naturale.

Per questo motivo, oltre alla possibilità di sfruttare un'illuminazione di tipo zenitale, si analizza l'influenza dell'edificio presente a sud del lotto nei confronti di una variazione volumetrica dell'ambiente stesso.

In generale, da tali considerazioni, deriva la decisione di porre l'area espositiva nel volume seminterrato del piano, data la necessità frequente di illuminazioni specifiche e costanti nel tempo, nonché la permanenza da parte degli utenti generalmente solo per brevi lassi di tempo.

D'altro canto i laboratori possono beneficiare maggiormente dall'apporto di luce naturale, essendo frequentati per periodi più lunghi ed essendovi svolte attività che richiedono attenzione e concentrazione.

Infine, data la peculiare conformazione del lotto e la destinazione d'uso residenziale degli ambienti ai piani superiori, si effettua un controllo del soleggiamento sugli affacci a sud all'interno della corte.

In questa porzione dell'edificio si rileva infatti una problematica di ombre autoportate, che possono compromettere in modo significativo la luminosità

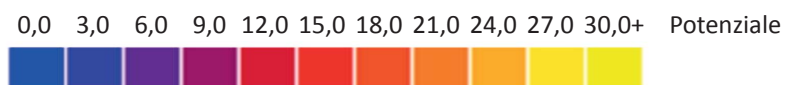
degli ambienti interni.

Il livello critico in questo frangente è quello del primo piano, dove l'ostruzione della volta celeste data dai volumi adiacenti alla superficie in esame è massima.

Di conseguenza vengono distinti tre casi, relativamente a tre superfici campione poste a diverse distanze dallo spigolo interno alla corte, formato dai due parallelepipedi ortogonali tra loro che costituiscono il volume di progetto.

Dall'analisi di seguito riportata, sono emerse considerazioni che hanno determinato la configurazione interna del progetto e le scelte di carattere compositivo viste nel capitolo precedente.

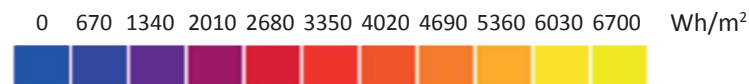
#### LEGENDA DEL POTENZIALE DI OSTRUZIONE SOLARE



La scala cromatica, presente nelle immagini qui a lato, è relativa allo studio sul diritto alla luce (right to light) effettuato tramite l'utilizzo del software Ecotect Analysis 2011: essa indica l'importanza relativa delle parti di volume esaminato che hanno il maggior potenziale di ostruzione della luce.

Com'è intuibile le parti con colori caldi via via verso il giallo sono le più critiche per il soleggiamento delle superfici in esame, mentre quelle con colorazione verso il blu sono potenzialmente molto meno influenti.

#### LEGENDA DELLA RADIAZIONE SOLARE MEDIA MENSILE



SOLEGGIAMENTO DEL FONTE SUD: distanza minima di 5 m dal confine

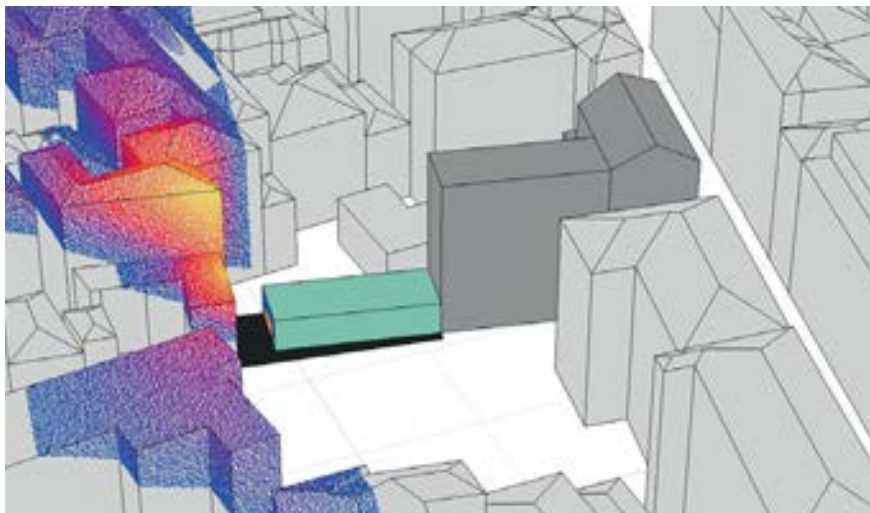
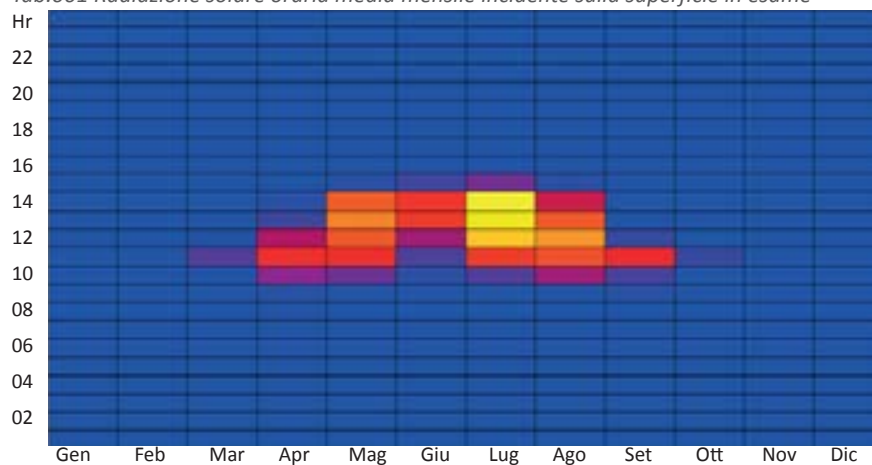


Fig.006 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.001 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



### Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 740 Orientation: -170.4°, 0.0°  
 Sun Position: 170.0°, 48.3°  
 HSA: -19.8°  
 VSA: 50.0°

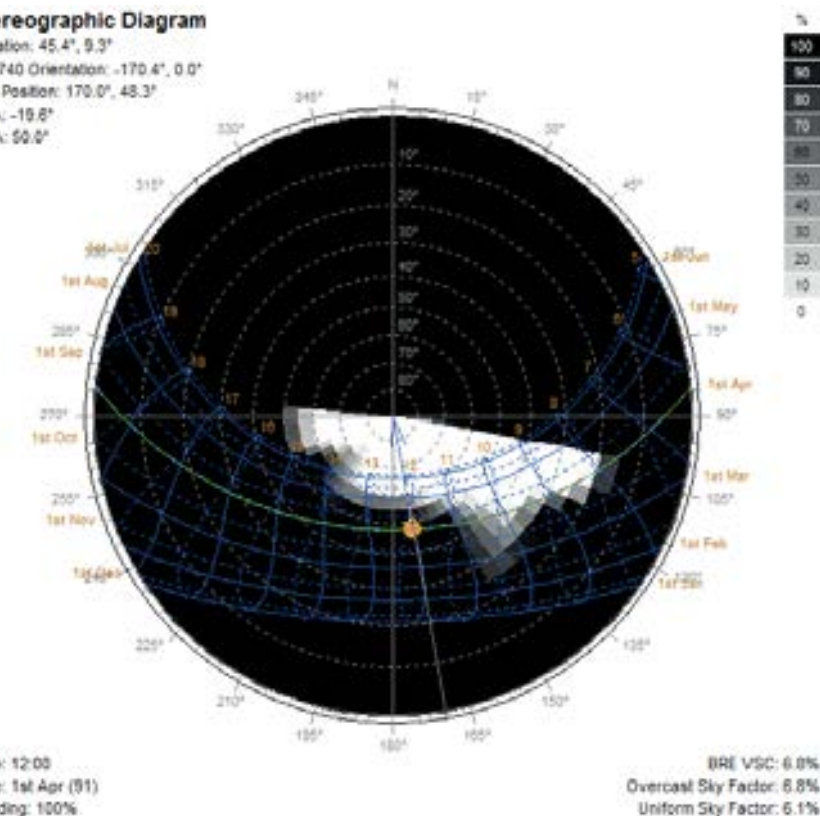


Fig.007 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Il volume di progetto a sud del lotto presenta uno sviluppo verticale per un solo piano fuori terra ed è destinato a funzioni aperte al pubblico; in particolare è necessario mantenere la distanza di rispetto dal confine del lotto pari a 5 metri.

In questo caso si valuta l'accesso alla luce solare della superficie sud del volume e si nota come solo nei mesi estivi sia disponibile un adeguato soleggiamento.

SOLEGGIAMENTO DEL FONTE SUD: distanza di 8 m dal confine

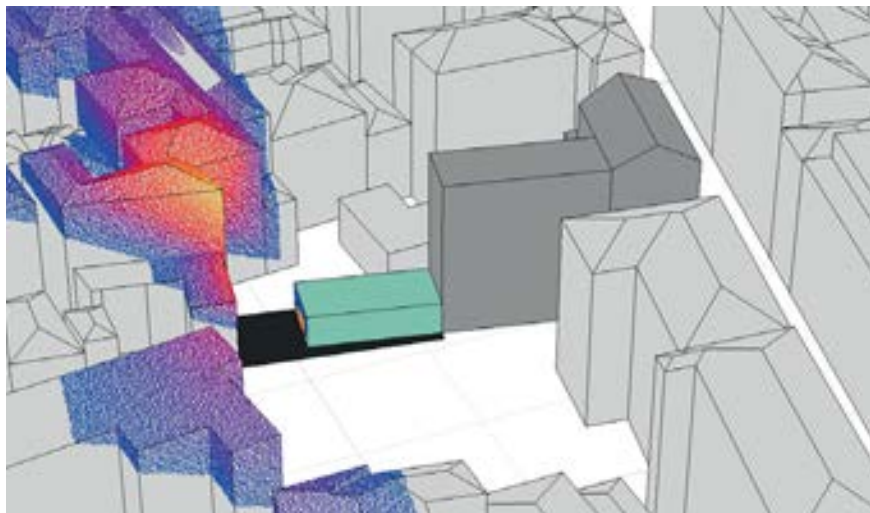
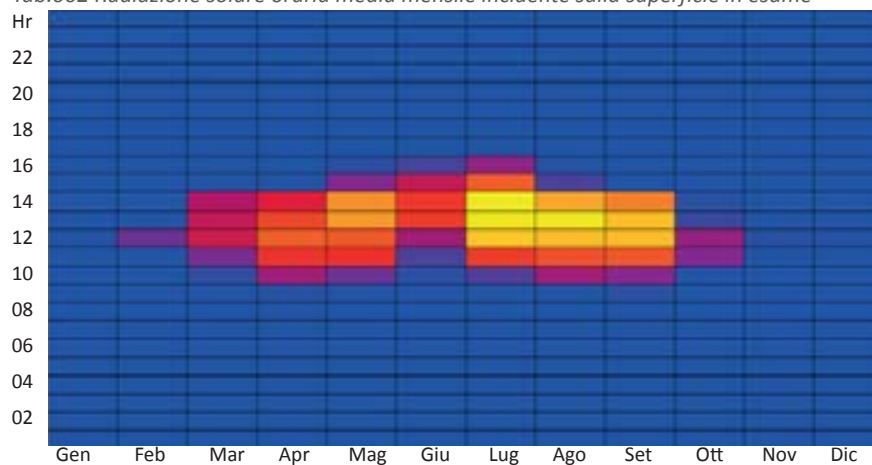


Fig.008 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.002 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 748 Orientation: -170.4°, 0.0°  
 Sun Position: 170.0°, 48.3°  
 HSA: -19.8°  
 VSA: 50.0°

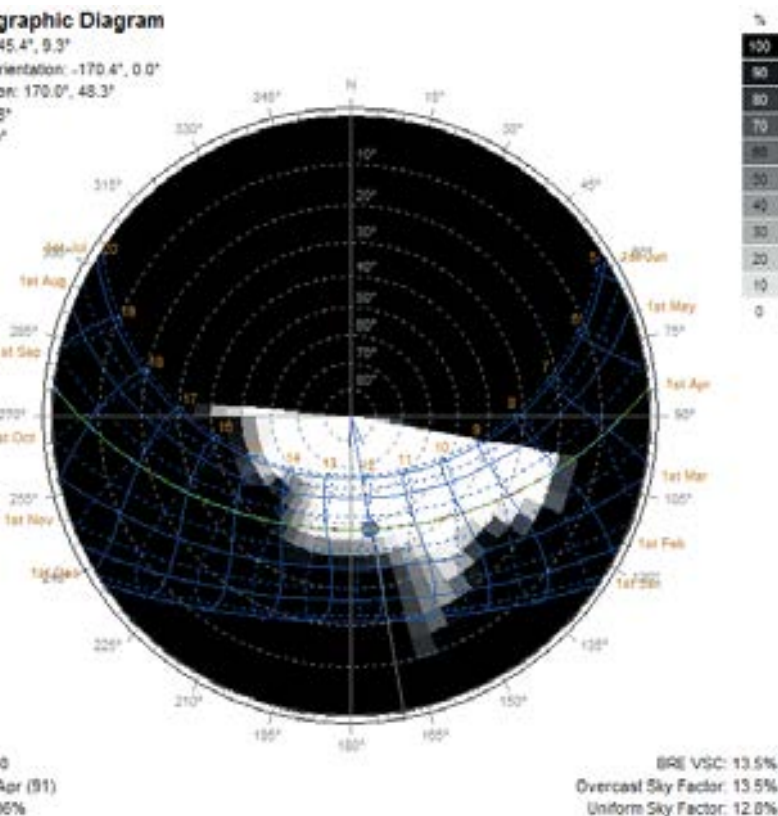


Fig.009 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Si valuta la possibilità di arretrare il fronte sud del volume di esame di ulteriori 3 metri; ciò permette di ottenere un cortile di dimensioni sufficienti a sud del lotto per essere piantumabile con vegetazione opportuna ad instaurare un controllo della radiazione estiva e facente da barriera visiva verso l'edificio confinante.

In questo caso si osserva un notevole miglioramento degli apporti luminosi, specialmente durante le stagioni intermedie



SOLEGGIAMENTO DEL FONTE SUD: distanza di 10 m dal confine

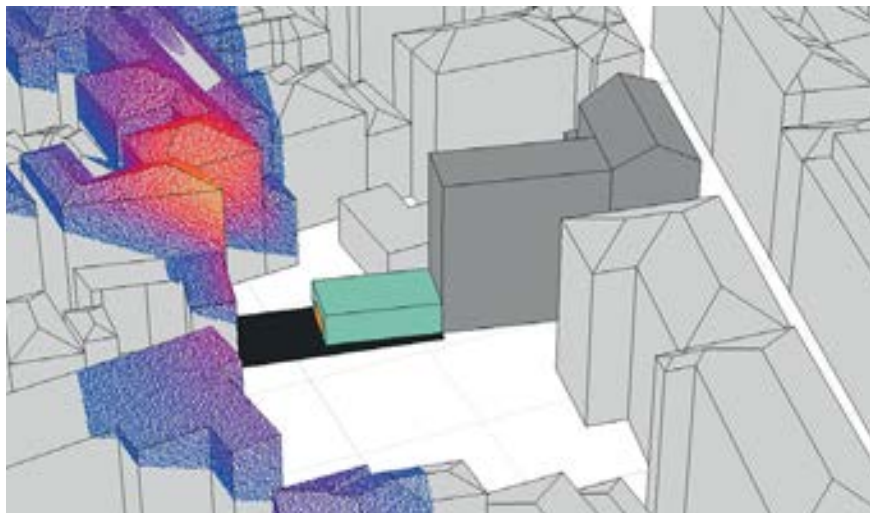
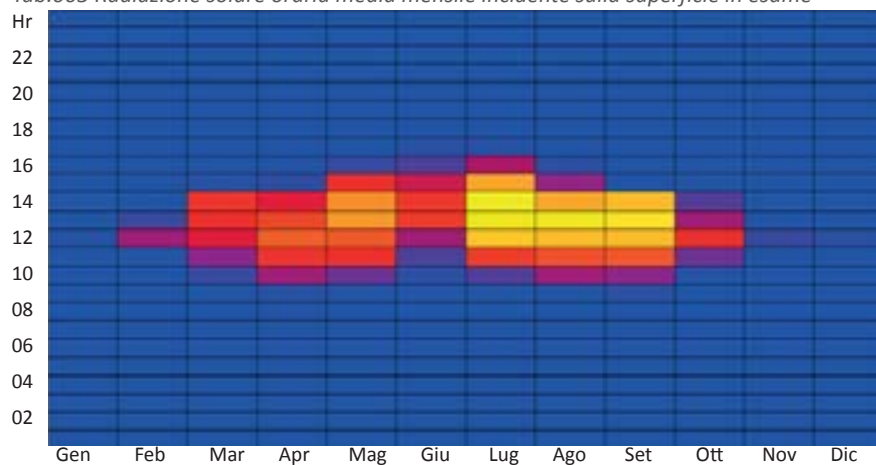


Fig.010 Grafico del dititto alla luce della superficie in esame

Tab.003 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 739 Orientation: -170.4°, 0.0°  
 Sun Position: 170.0°, 48.3°  
 HSA: -19.8°  
 VSA: 50.0°

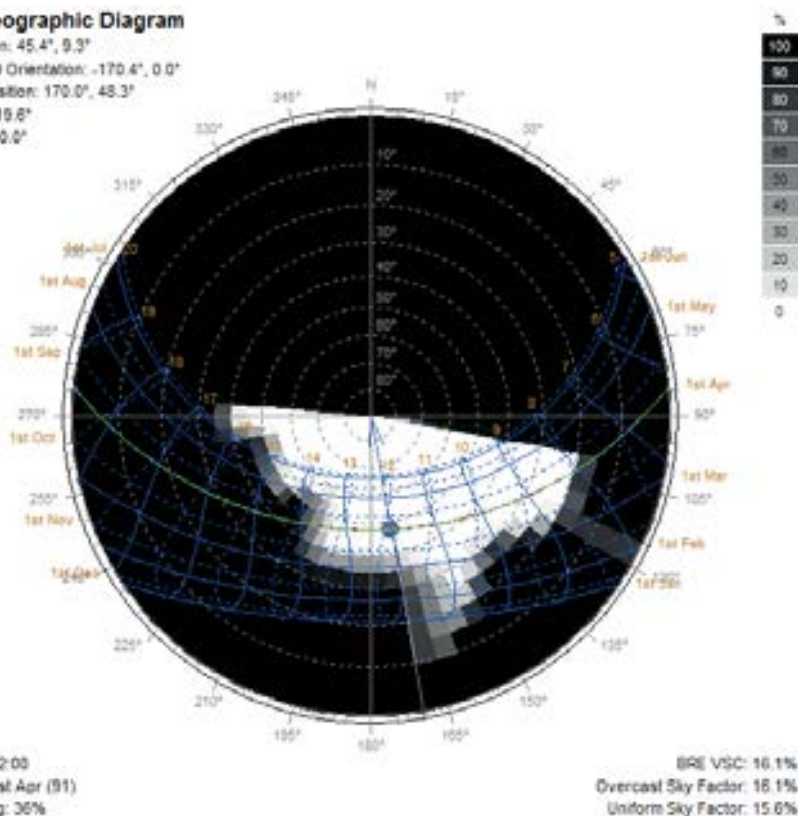


Fig.011 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Infine si valutano gli effetti di ulteriori arretramenti del fronte sud del progetto: in questo caso non si osservano significativi miglioramenti rispetto all'arretramento iniziale; inoltre ulteriori riduzioni volumetriche imporrebbero di sacrificare superficie di progetto, il che è sconsigliabile in un contesto urbano dagli elevati costi del suolo.

SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali d'angolo, volume massimo

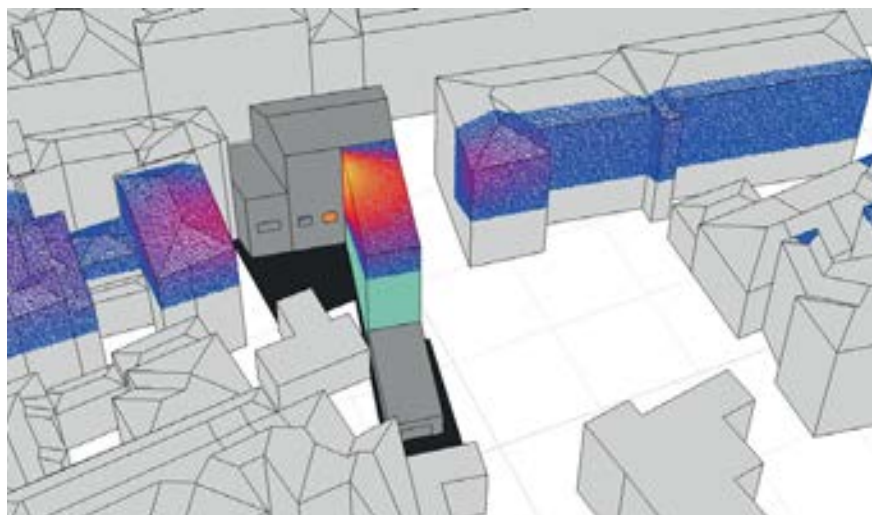
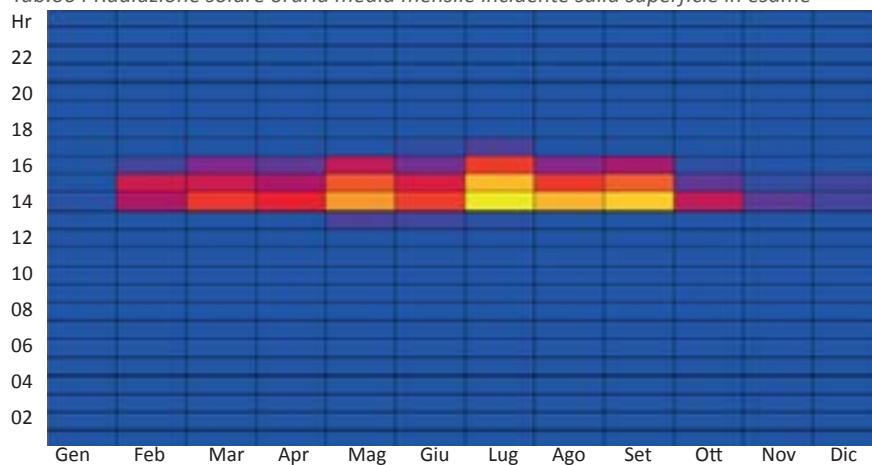


Fig.012 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.004 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 766 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

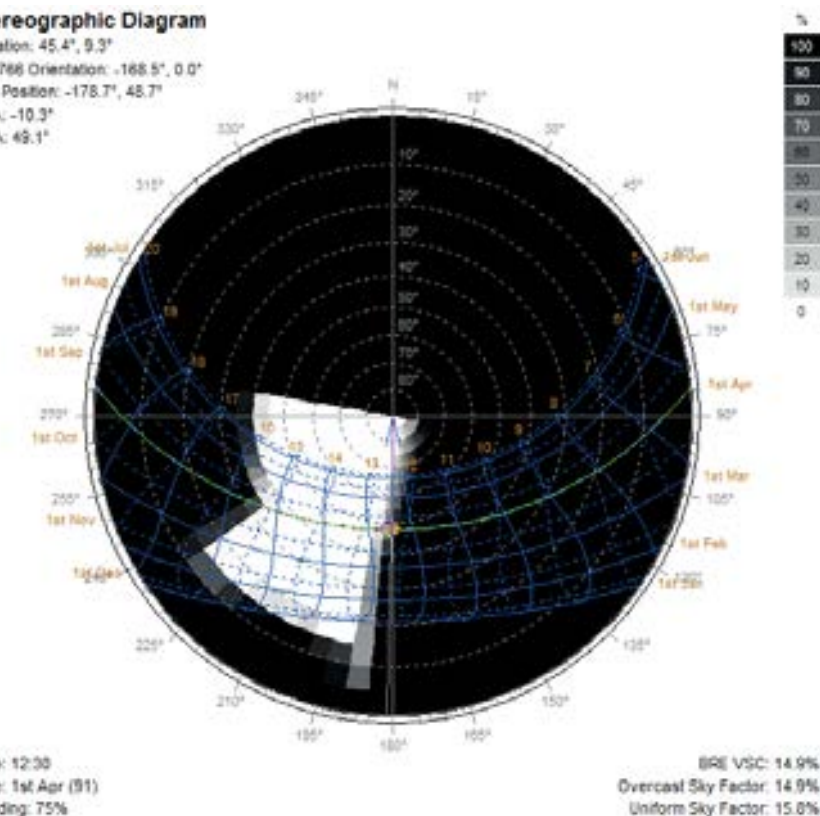


Fig.013 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Si verifica l'accesso alla luce solare nel punto più vicino allo spigolo interno formato dall'edificio attorno alla corte; tale punto, considerata la quota del primo piano, è quello più critico rispetto alla luminosità degli ambienti retrostanti.

Come si vede dai grafici la porzione del fabbricato in esame è in ombra per tutta la mattinata e, in generale, riceve poca radiazione solare.

SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali d'angolo, volume ribassato

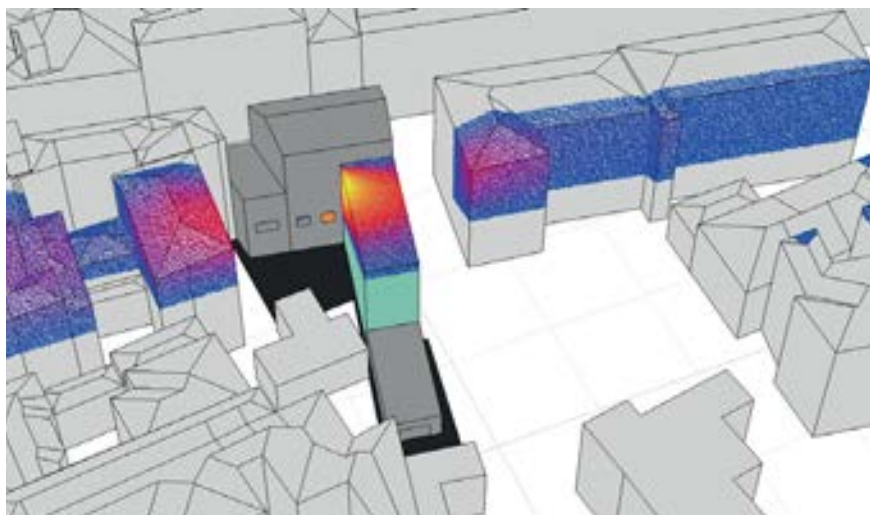
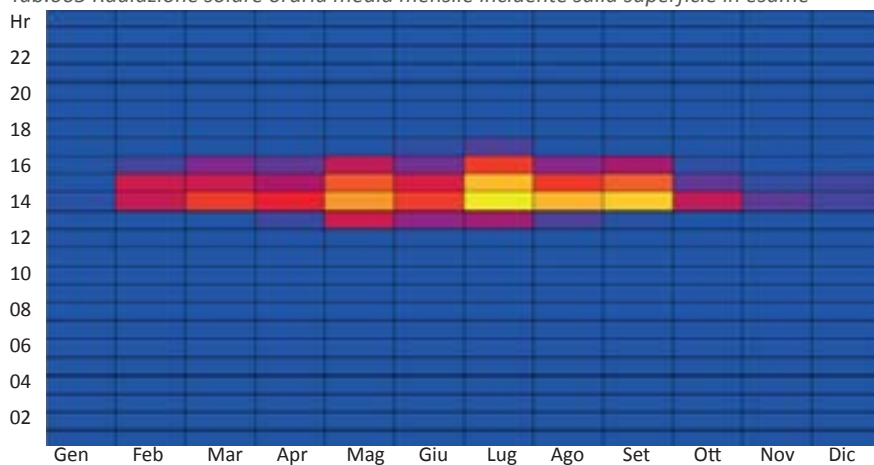


Fig.014 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.005 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 766 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

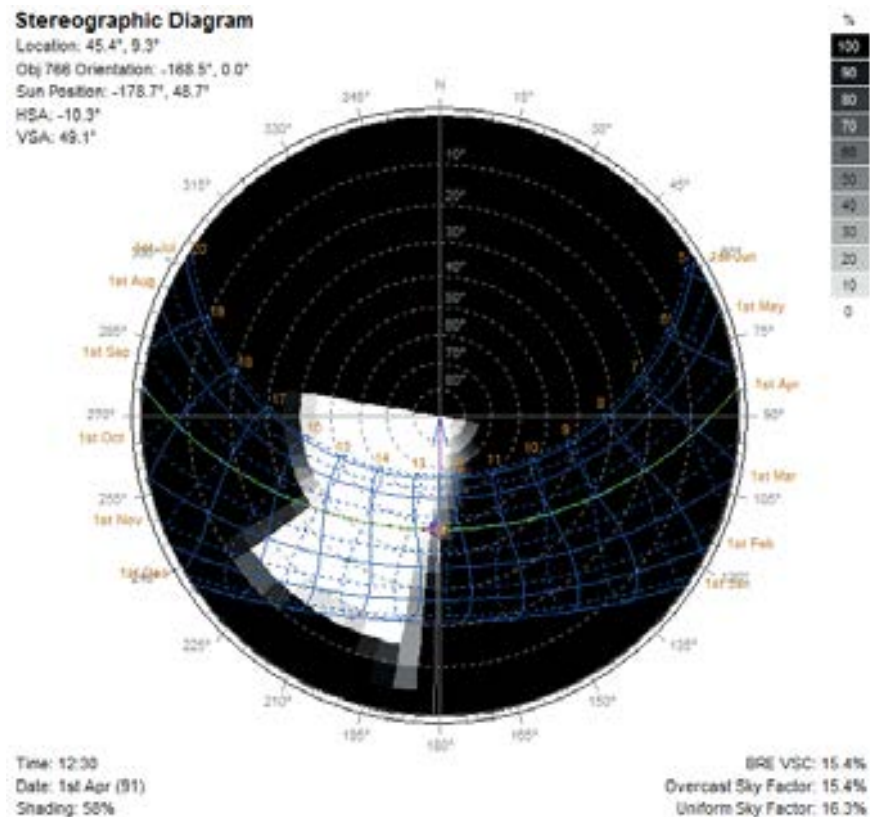


Fig.015 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Introducendo un dislivello tra il fronte nord dell'edificio e la porzione ortogonale ad esso, si ottiene un ribassamento del volume verso sud del fabbricato, critico nei confronti del soleggiamento della corte interna.

Il punto in esame è comunque prossimo allo spigolo interno e non risente di miglioramenti significativi per quanto riguarda la sua esposizione solare.



SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali d'angolo, volume terrazzato

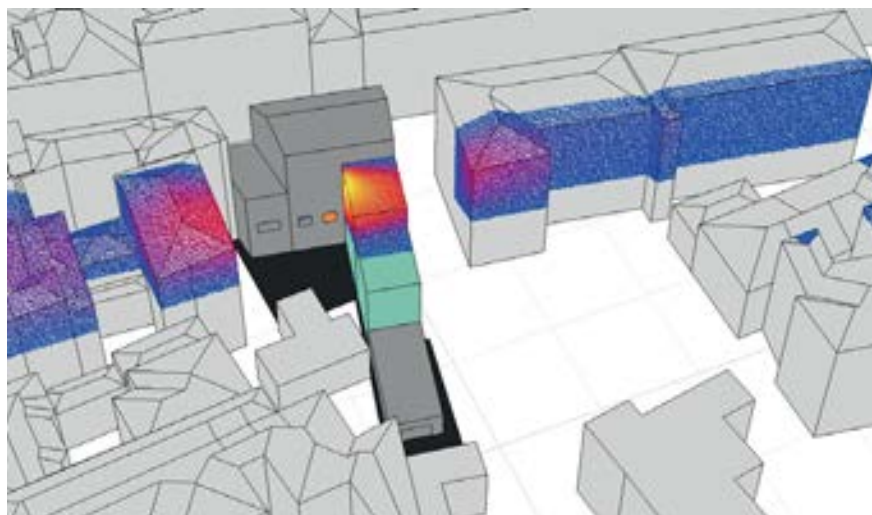


Fig.016 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.006 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 766 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

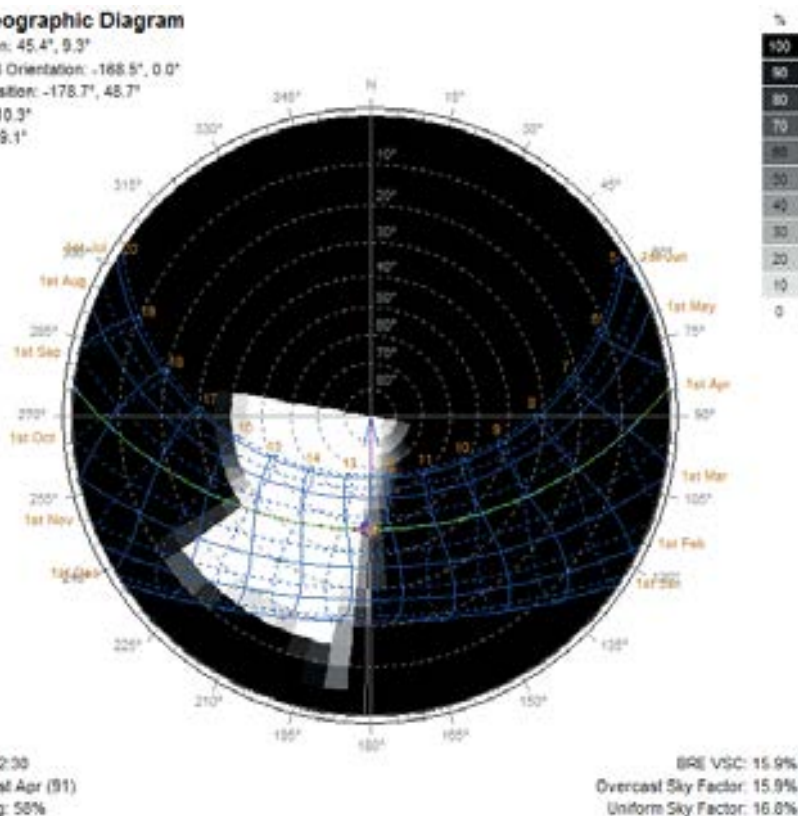


Fig.017 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Infine si valutano le conseguenze della realizzazione di un volume digradante verso sud; data la posizione particolarmente sfavorevole del punto in esame non varia sensibilmente la sua esposizione solare.

Tale comportamento ha contribuito significativamente a determinare il posizionamento del blocco scale in questo punto, realizzando grandi superfici vetrate ai primi livelli per garantire una buona illuminazione, senza la particolare necessita di schermature data la bassa radiazione solare incidente.



SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali centrali, volume massimo

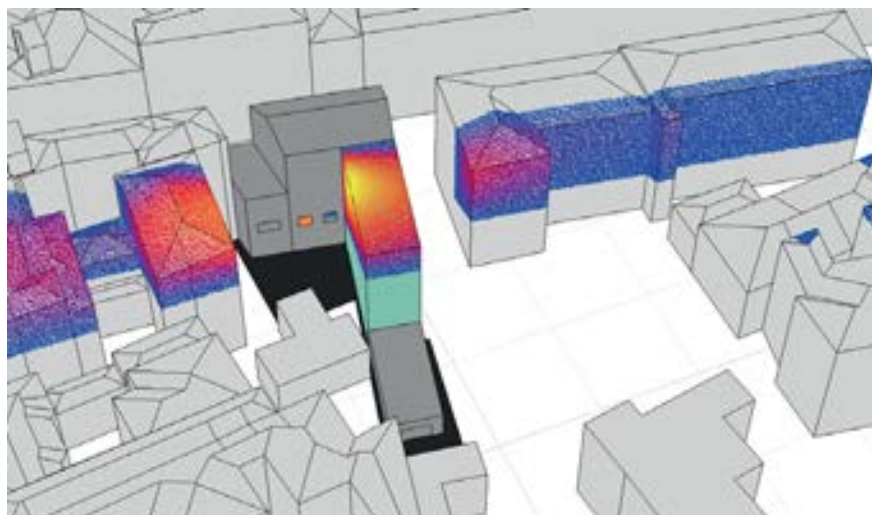


Fig.018 Grafico del dititto alla luce della superficie in esame

Tab.007 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 723 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

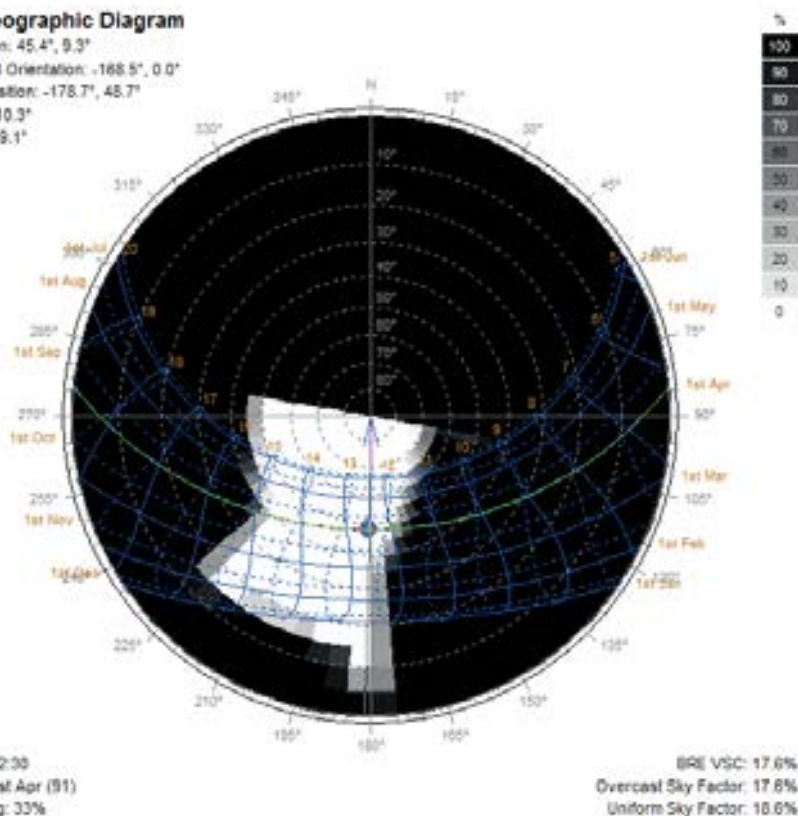


Fig.019 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Successivamente si ripete l'analisi relativamente alla porzione centrale degli affacci sulla corte; nel caso del volume massimo si nota una condizione generale lievemente migliore di quella dei locali prossimi allo spigolo interno.

Permane la condizione di ombre autopotote nelle ore mattutine, in questo caso inizia a diventare rilevante l'influenza del contesto che ombreggia il progetto nelle ore serali, particolarmente nel periodo estivo, il che è valutato positivamente.

SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali centrali, volume ribassato

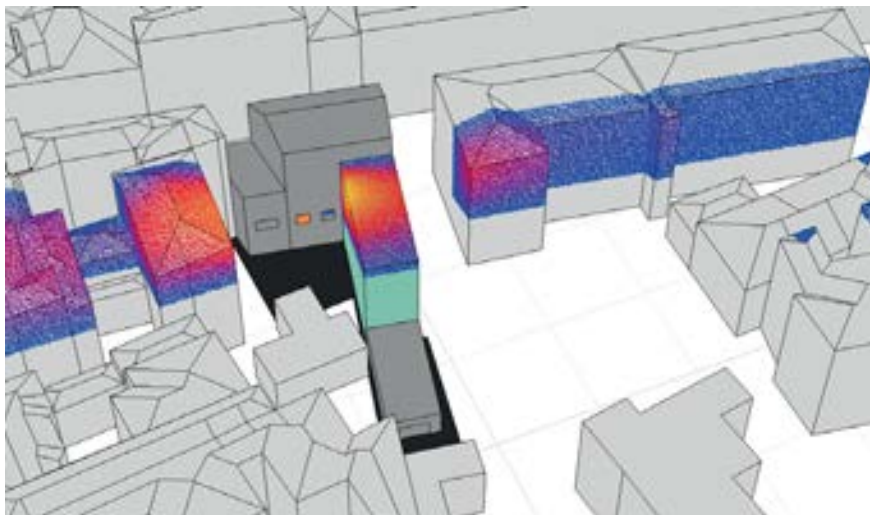
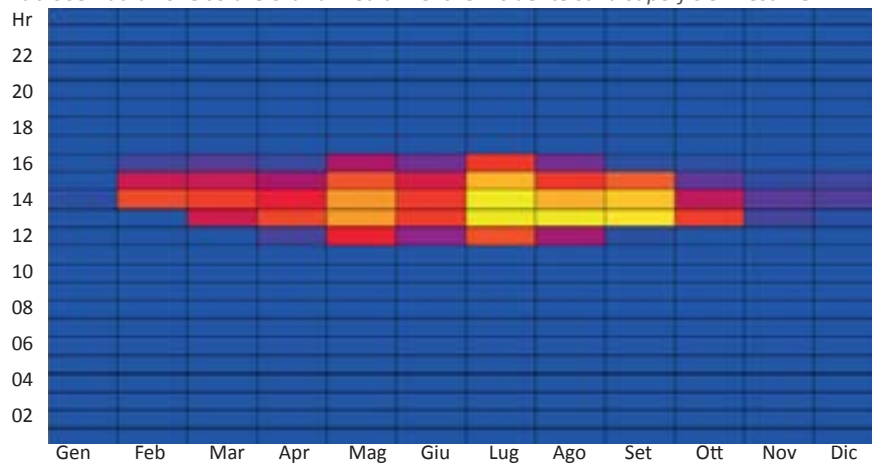


Fig.020 Grafico del dititto alla luce della superficie in esame

Tab.008 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 718 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

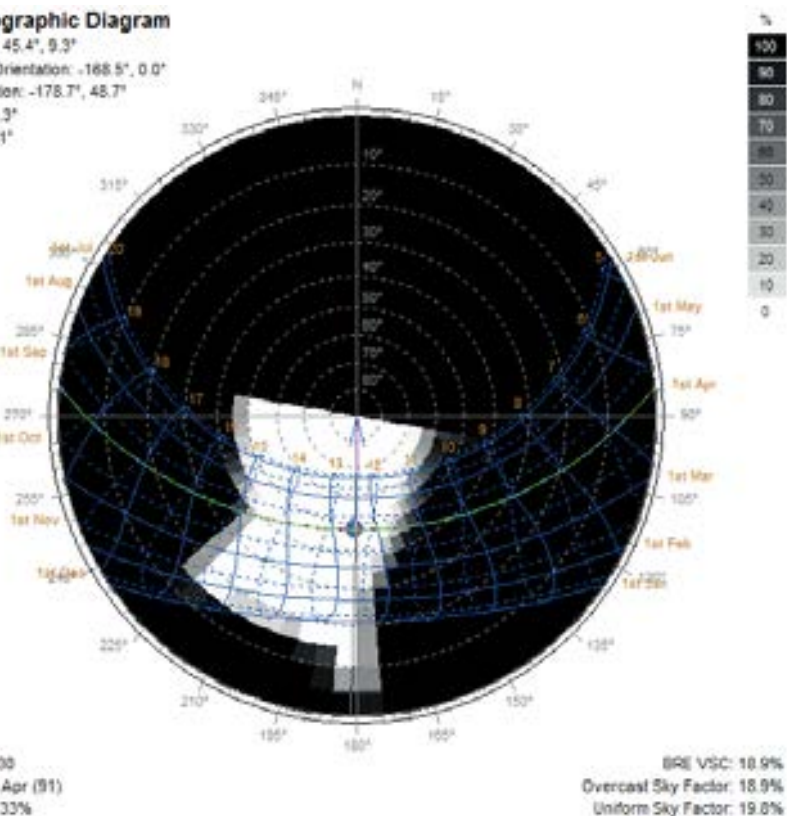


Fig.021 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

In seguito alla realizzazione del dislivello in pianta, con il conseguente ribassamento del corpo a sud dell'edificio di progetto, si denota un aumento degli apporti solari alla superficie in esame.

L'aumento è più marcato nella stagione estiva, facilmente schermabile con aggetti orizzontali, tuttavia si riscontra un miglioramento del soleggiamento anche nelle stagioni intermedie e invernale, seppur lieve.

SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali centrali, volume terrazzato

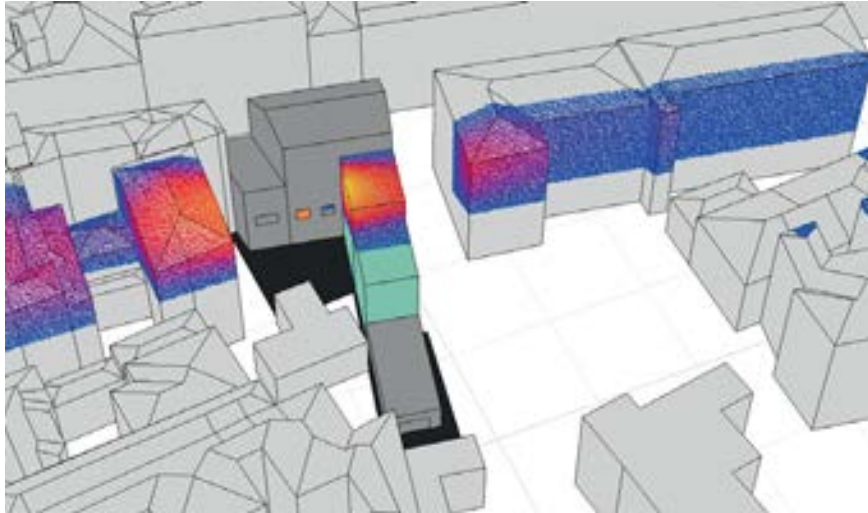
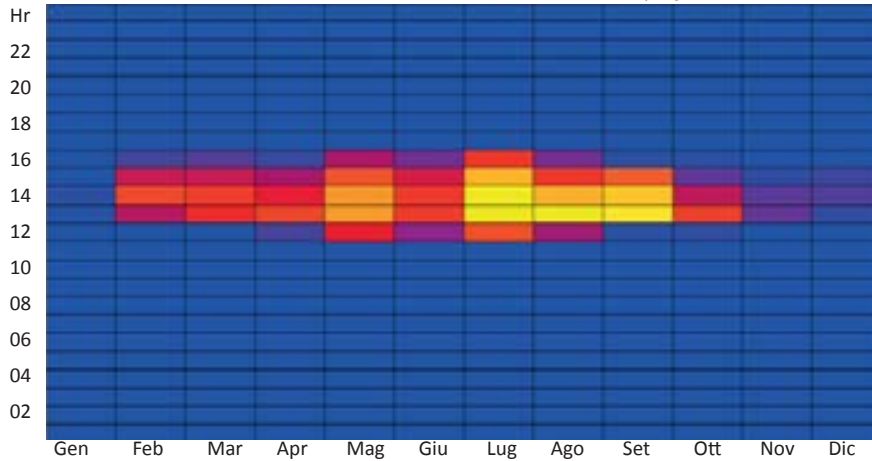


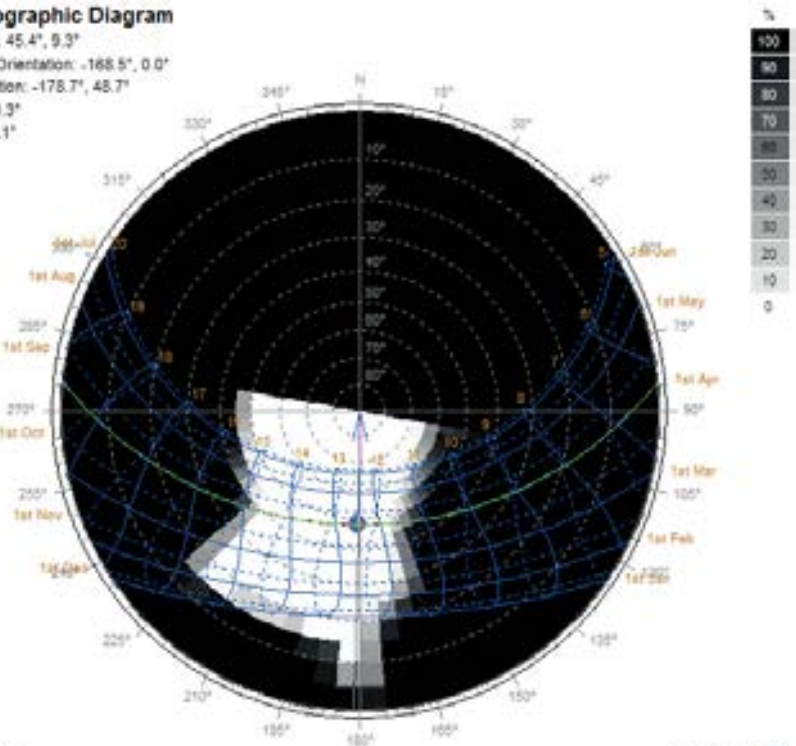
Fig.022 Grafico del dititto alla luce della superficie in esame

Tab.009 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 718 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°



Time: 12:30  
 Date: 1st Apr (91)  
 Shading: 33%

BRE VSC: 19.9%  
 Overcast Sky Factor: 19.9%  
 Uniform Sky Factor: 21.0%

Fig.023 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

L'istituzione dei terrazzamenti verso sud pota ad un miglioramento, focalizzato nel periodo invernale, dell'accesso alla luce della porzione centrale degli affaccio sulla corte.

In questo caso si rivela consigliabile perseguire una struttura digradante dell'edificio, nei limiti del mantenimento della superficie edificabile, sempre a causa degli elevati costi del suolo milanese.



SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali periferici, volume massimo

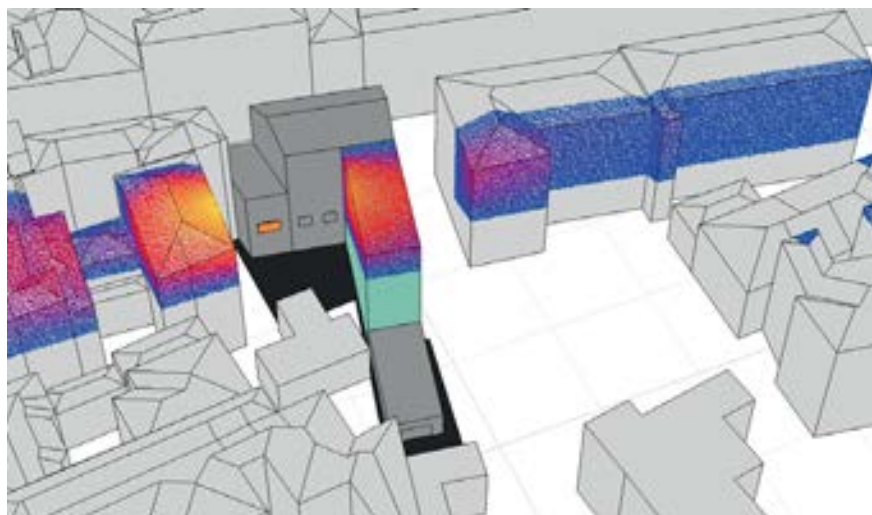
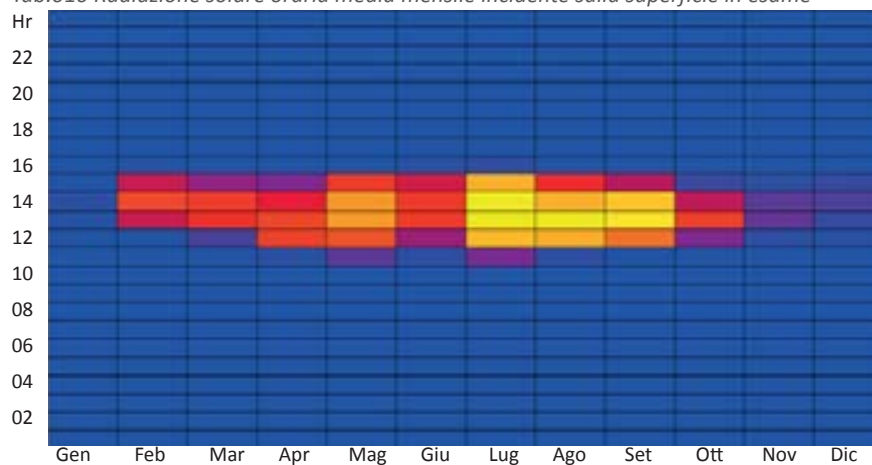


Fig.024 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.010 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 774 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: 170.0°, 48.3°  
 HSA: -21.5°  
 VSA: 50.3°

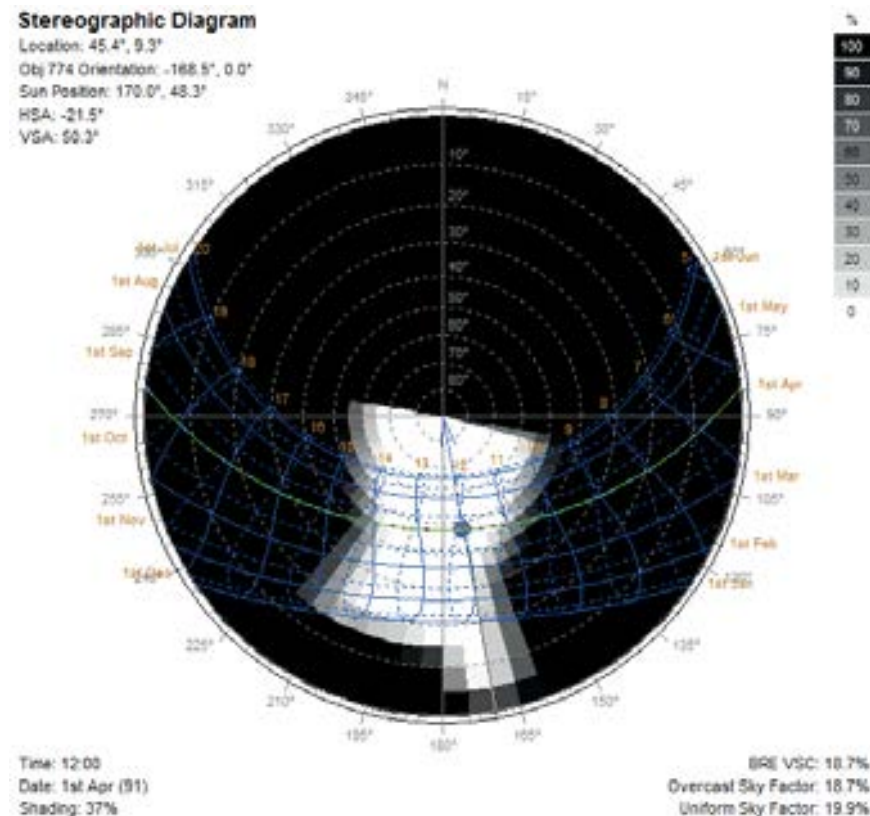


Fig.025 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

Nel caso di affacci localizzati in adiacenza agli edifici confinanti, si rileva un sostanziale aumento dell'ombreggiamento subito nelle ore tardo-pomeridiane. Mentre al mattino, nel caso del volume massimo edificabile, non si riscontrano livelli di soleggiamento significativamente migliori rispetto alla porzione centrale dell'edificio.



SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali periferici, volume ribassato

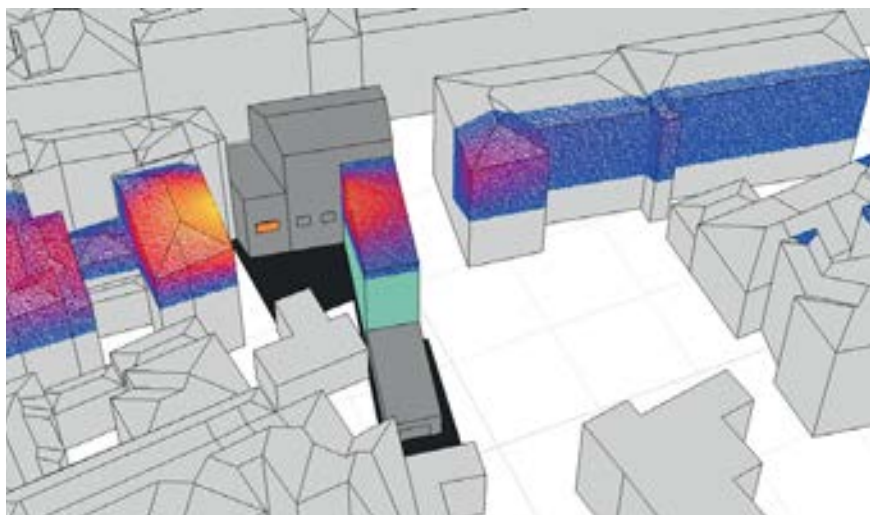
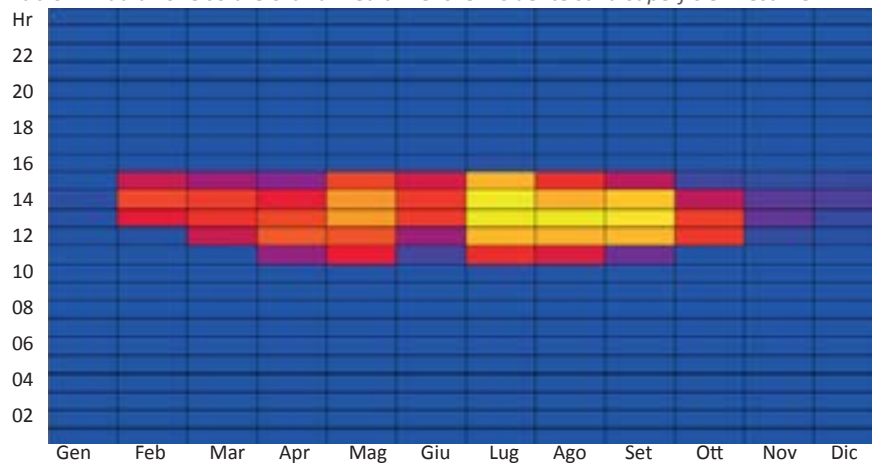


Fig.026 Grafico del ditto alla luce della superficie in esame

Tab.011 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



### Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 780 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

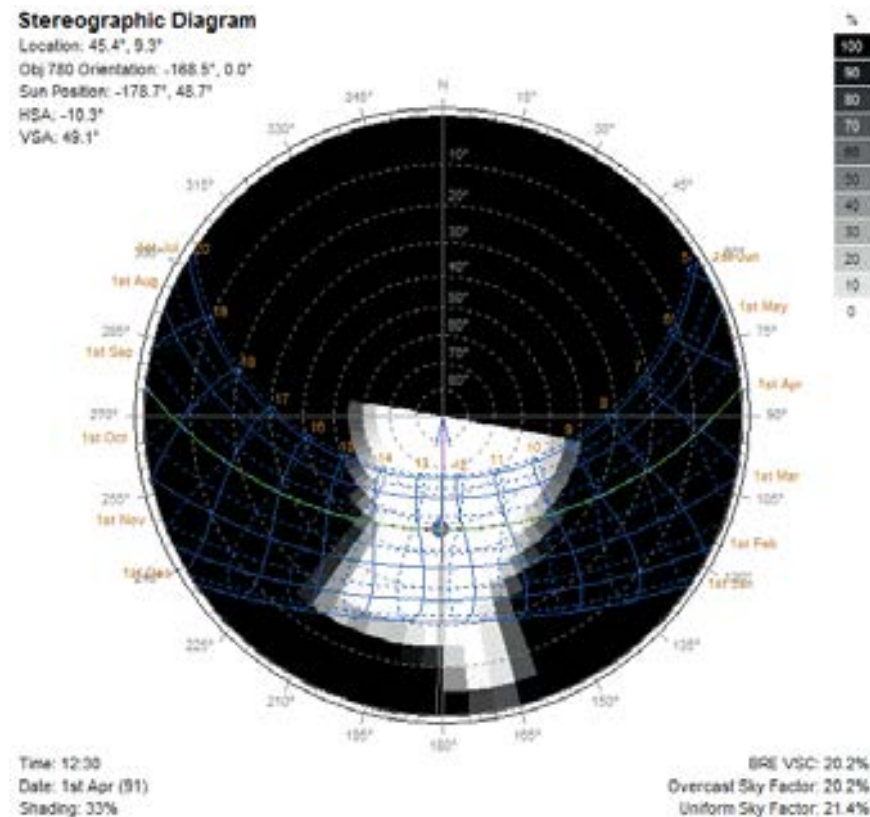


Fig.027 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

In conseguenza dell'istituzione del ribassamento in direzione sud, la situazione al mattino migliora notevolmente, portando ad una situazione di ottimo soleggiamento nelle ore centrali del giorno per la quasi totalità dell'anno.

SOLEGGIAMENTO ALL'INTERNO DELLA CORTE: locali periferici, volume terrazzato

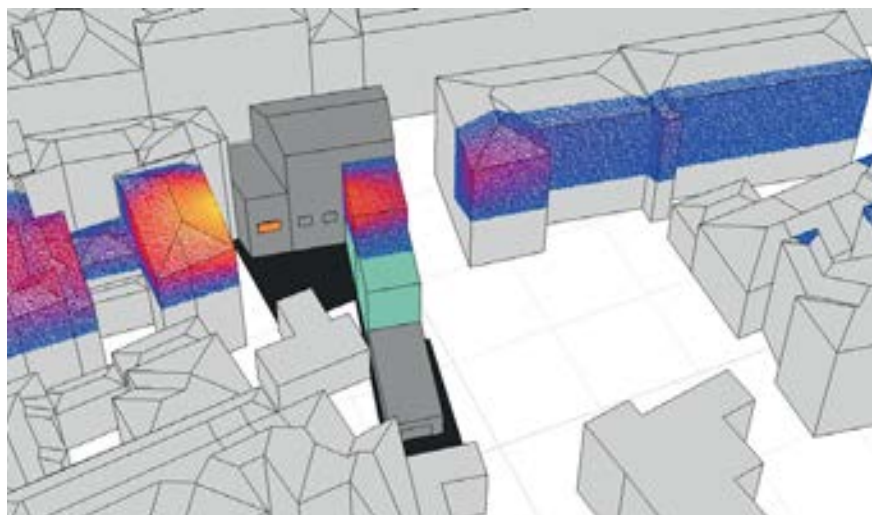
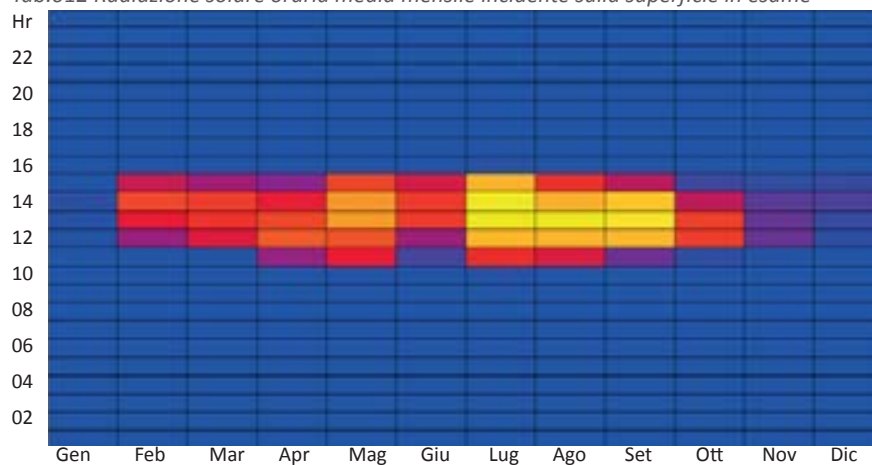


Fig.028 Grafico del dititto alla luce della superficie in esame

Tab.012 Radiazione solare oraria media mensile incidente sulla superficie in esame



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°  
 Obj 780 Orientation: -168.5°, 0.0°  
 Sun Position: -178.7°, 48.7°  
 HSA: -10.3°  
 VSA: 49.1°

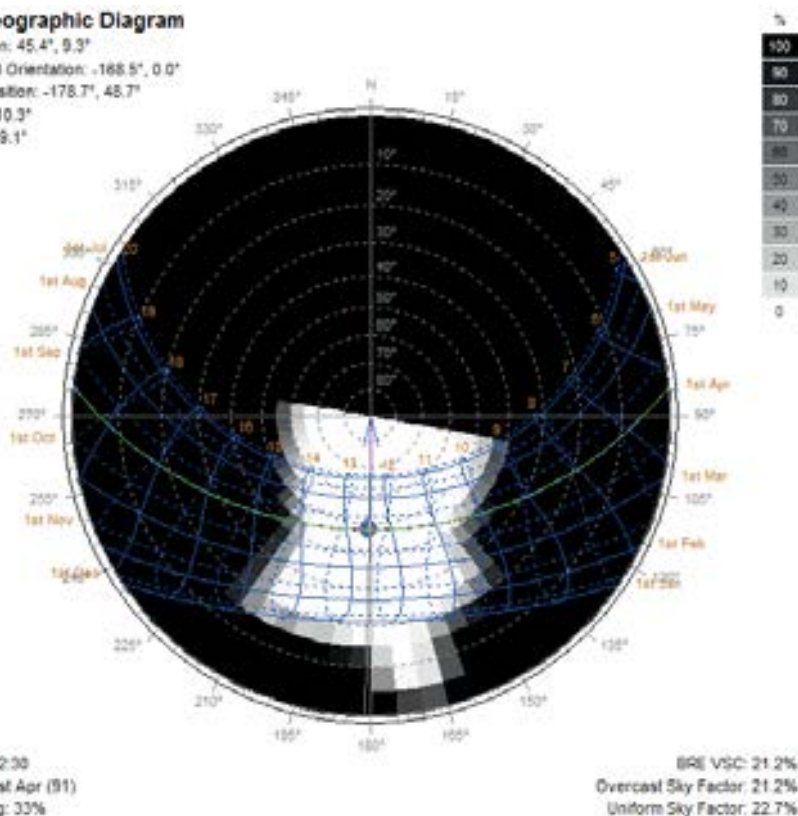
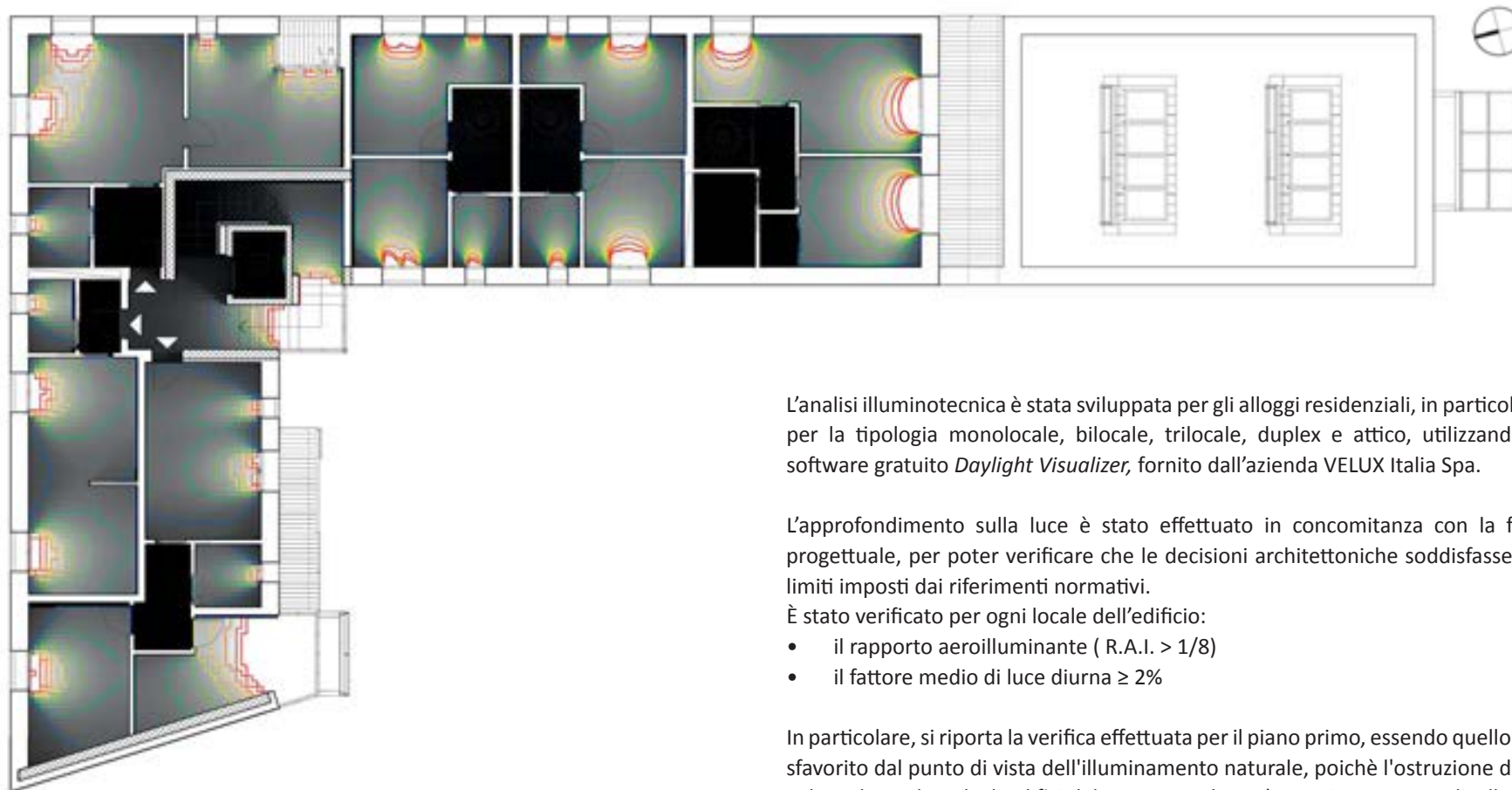


Fig.029 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare

La configurazione a terrazzamenti digradanti verso sud del volume di progetto comporta un'ottima esposizione solare per quasi l'intero arco del giorno nel periodo invernale; a differenza delle superfici posizionate più centralmente all'interno della corte in cui non si recuperano mai, in alcuna configurazione, sostanziali ore di soleggiamento nelle mattinate invernali.

Per questo motivo si sceglie di posizionare in questo punto le serre bioclimatiche per le residenze ai primi livelli localizzate in questa porzione di edificio.

### 3.3 ILLUMINAMENTO DELLE RESIDENZE



LEGENDA CROMATICA

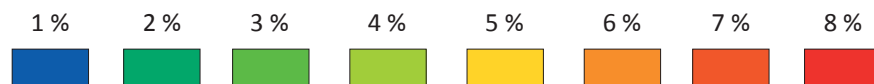


Fig.030 FLD relativo al primo piano dell'edificio

L'analisi illuminotecnica è stata sviluppata per gli alloggi residenziali, in particolare per la tipologia monolocale, bilocale, trilocale, duplex e attico, utilizzando il software gratuito *Daylight Visualizer*, fornito dall'azienda VELUX Italia Spa.

L'approfondimento sulla luce è stato effettuato in concomitanza con la fase progettuale, per poter verificare che le decisioni architettoniche soddisfassero i limiti imposti dai riferimenti normativi.

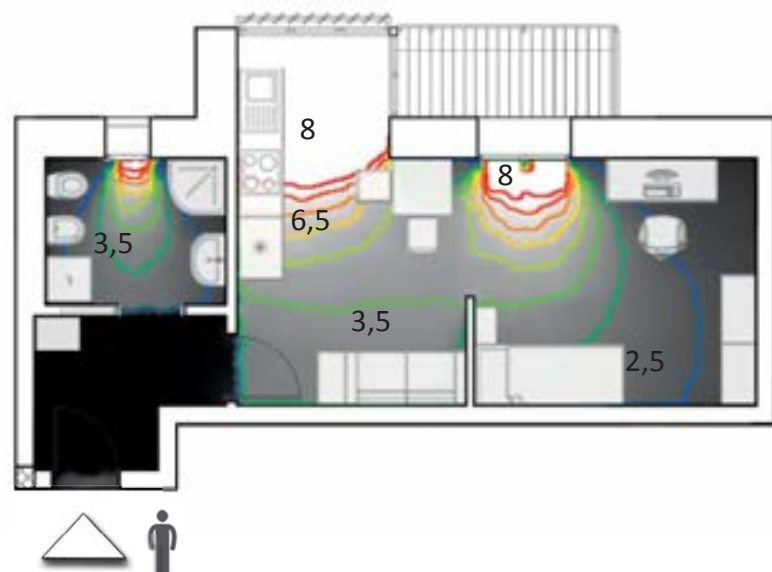
È stato verificato per ogni locale dell'edificio:

- il rapporto aeroilluminante ( R.A.I. > 1/8)
- il fattore medio di luce diurna  $\geq 2\%$

In particolare, si riporta la verifica effettuata per il piano primo, essendo quello più sfavorito dal punto di vista dell'illuminazione naturale, poichè l'ostruzione della volta celeste data dagli edifici del contesto urbano è massima a questo livello.

In generale, la distribuzione interna degli ambienti è stata progettata per tutti i livelli in modo da rispettare, per ogni locale, i valori minimi di illuminamento previsti dalla normativa.

### 3.3.1 ALLOGGIO MONOLOCALE



#### LEGENDA CROMATICA

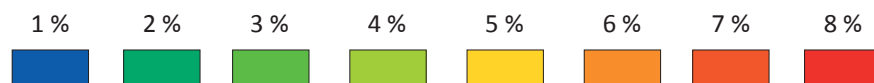


Fig.031 FLD della residenza monolocale

La prima analisi svolta riguardo la tipologia residenziale è relativa al fattore di luce diurna che caratterizza la luminosità dei locali.

Nell'immagine a lato riportata è indicata cromaticamente la diminuzione progressiva dell'indice FLD a partire dagli infissi, fino alle zone più interne delle stanze; in particolare sono segnati dei valori puntuali, ad indicare il livello di luminosità in particolari zone della pianta architettonica.

In generale, la tipologia monolocale rispetta i limiti imposti dalla normativa: la zona giorno, grazie all'ampia vetrata che capta la radiazione solare da sud-est, presenta un valore medio del fattore di luce diurna pari al 4,6%, più del doppio del 2% minimo richiesto; mentre la zona notte, dalla disposizione più intima è connotata da un valore medio pari a 2,7%.

In seguito, sono state svolte le analisi sull'illuminanza e sulla luminanza. Dai grafici sull'illuminanza si osserva che gli ambienti sono caratterizzati da un elevato livello di luminosità per tutto l'arco dell'anno.

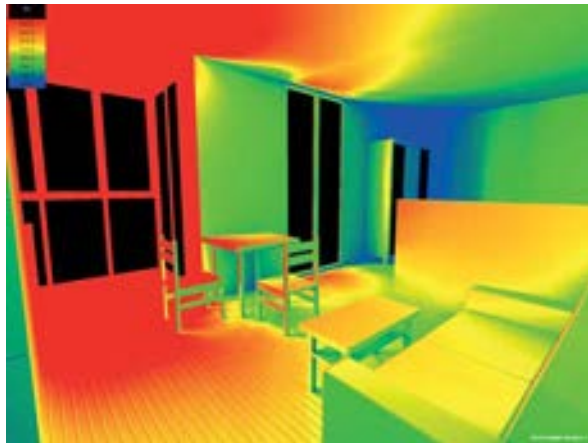
Inoltre dai valori della luminanza si evince la presenza di un possibile fenomeno di abbagliamento nei riguardi dell'area del bow-window; a questo si può facilmente ovviare mediante l'utilizzo di sistemi interni di controllo della radiazione luminosa.

Tale studio è svolto considerando delle tipologie di chiusure trasparenti a triplo vetro, ma con elevato fattore di trasmissione luminosa, pari a circa il 70%.

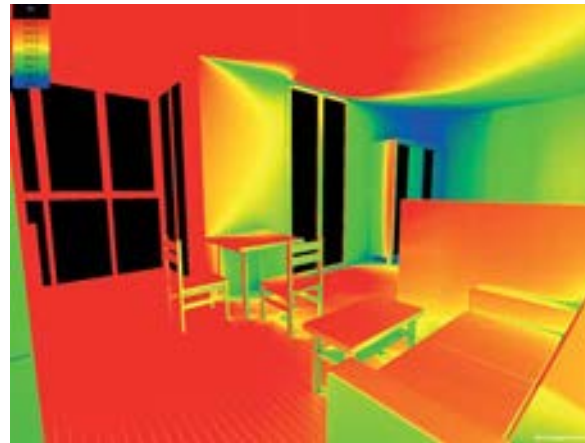
Inoltre si intravede il sistema di schermatura fissa a lamelle verticali in zinco-titanio, che ripara la zona giorno dalla radiazione solare estiva in direzione est, mentre lasciano passare la luce invernale che proviene in prevalenza da sud.



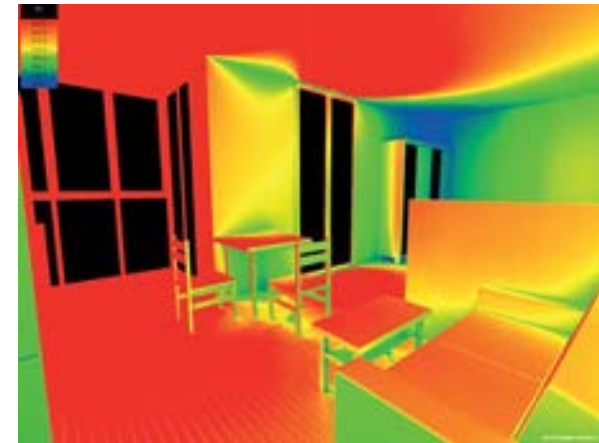
21 DICEMBRE ILLUMINANZA



21 MARZO ILLUMINANZA

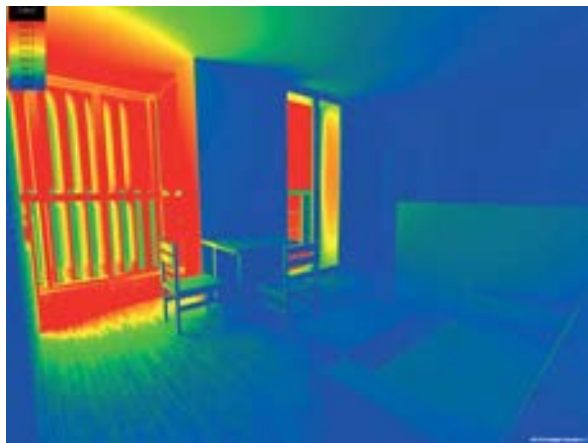


21 LUGLIO ILLUMINANZA

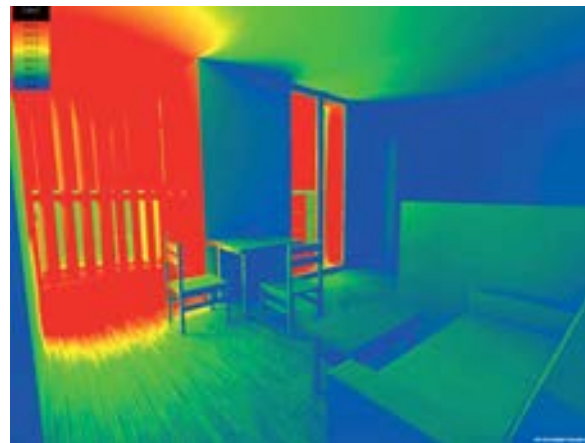


LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Lux

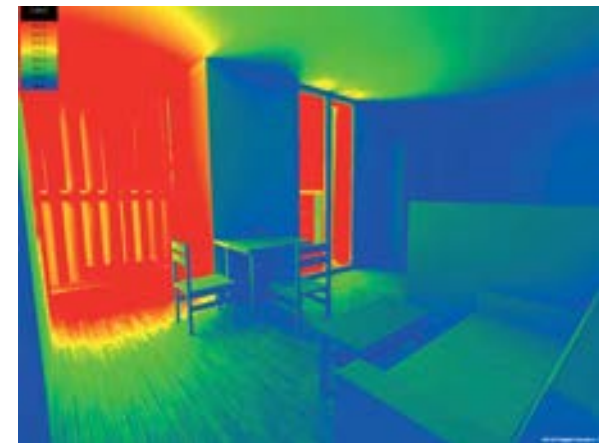
21 DICEMBRE LUMINANZA



21 MARZO LUMINANZA



21 LUGLIO LUMINANZA



LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Cd/m<sup>2</sup>

Fig.032 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del monolocale

### 3.3.2 ALLOGGIO BILOCALE



La tipologia residenziale bilocale analizzata, è caratterizzata da un orientamento nord-est su via Palermo; per questo motivo si è scelto di posizionare l'ingresso e i servizi igienici sul lato nord, riservando gli apporti luminosi più favorevoli provenienti da est, agli ambienti dove si trascorre il maggior tempo.

Per tanto la zona giorno, dotata di doppio affaccio, presenta un valore medio del fattore di luce diurna pari al 3,7%, che risulta prossimo al valore ottimo. Mentre la zona notte, la quale riceve la luce naturale attraverso un'ampia vetrata che dà su un terrazzo, ricavato all'interno della sagoma dell'edificio, presenta un FLDm pari al 2,5%.

Dall'osservazione sull'illuminanza, si evince come la zona notte sia un ambiente caratterizzato da una prevalenza di luce diffusa, senza fenomeni di abbagliamento o di stress luminoso, come dimostrato dai grafici della luminanza.

Proprio per la mancanza di picchi di insolazione, per questa abitazione non sono previsti particolari sistemi di schermatura esterna, all'infuori dei pannelli oscuranti scorrevoli di dotazione standard degli infissi di progetto.

#### LEGENDA CROMATICA

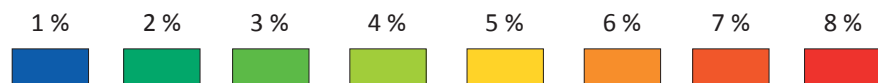
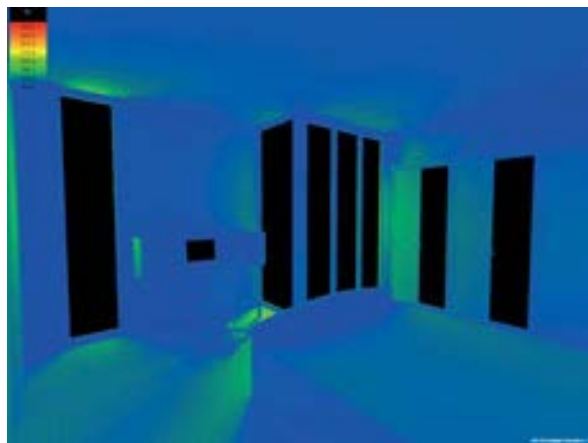
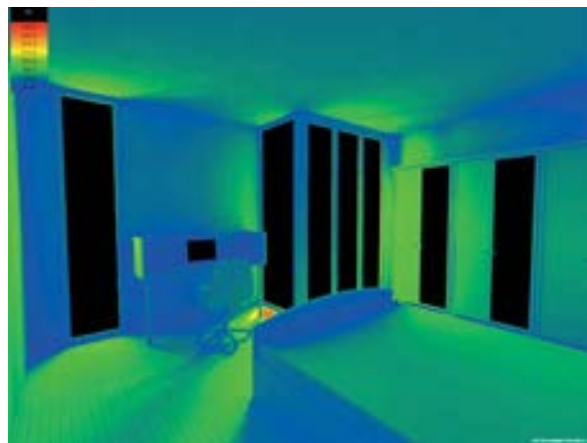


Fig.033 FLD della residenza bilocale

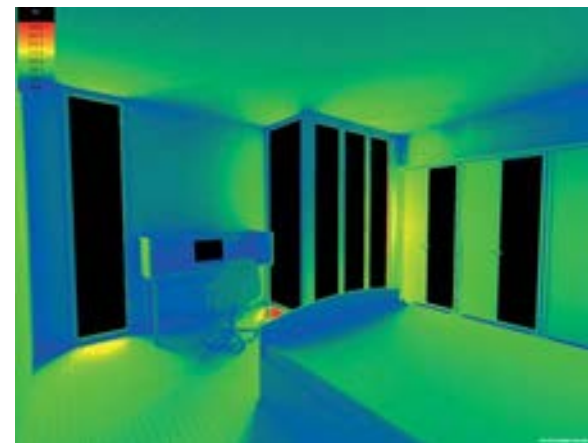
21 DICEMBRE ILLUMINANZA



21 MARZO ILLUMINANZA



21 LUGLIO ILLUMINANZA

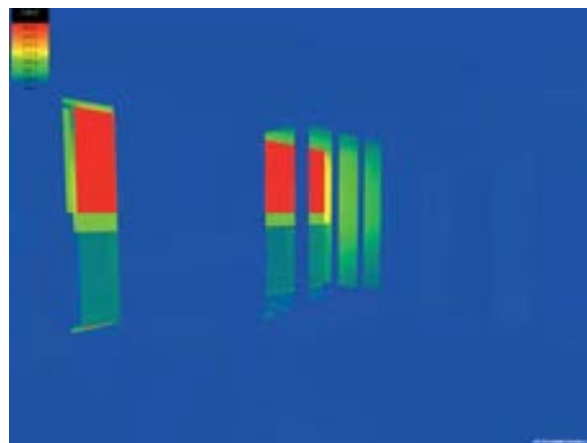


LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Lux

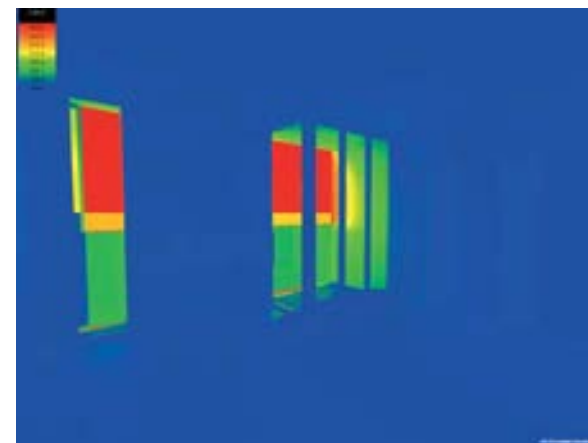
21 DICEMBRE LUMINANZA



21 MARZO LUMINANZA



21 LUGLIO LUMINANZA



LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Cd/m<sup>2</sup>

Fig.034 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona notte del bilocale

### 3.3.3 ALLOGGIO TRILOCALE

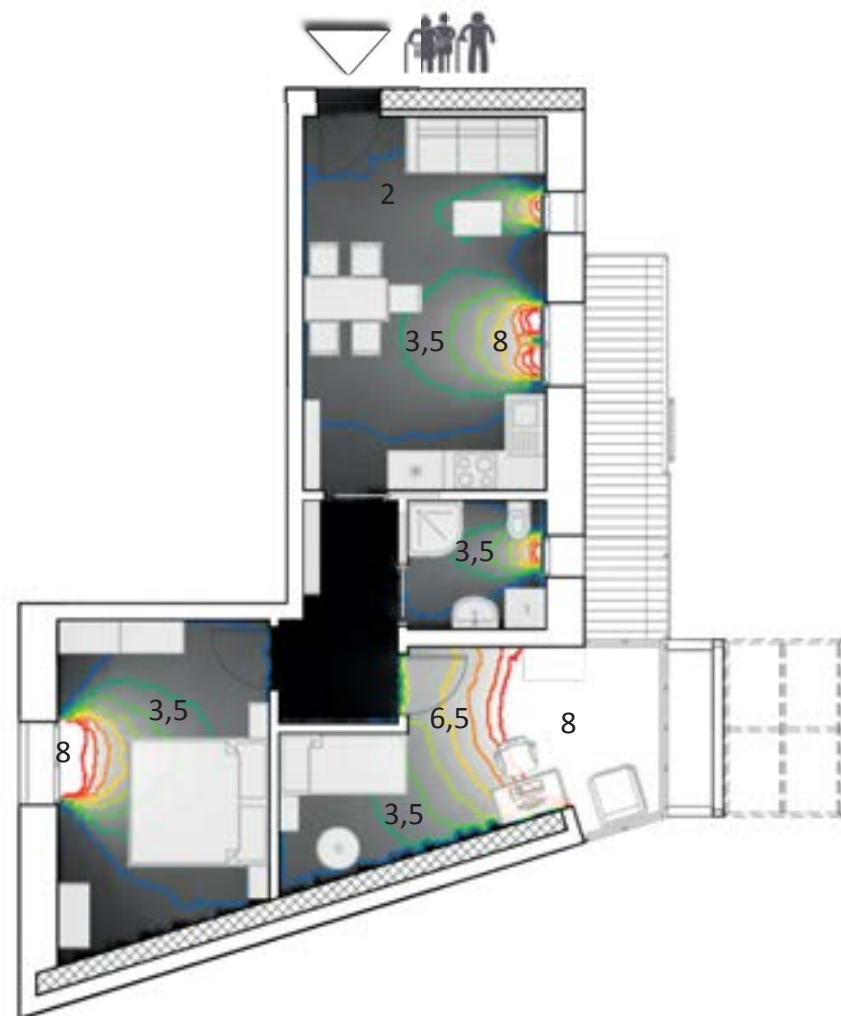


Fig.035 FLD della residenza trilocale

La tipologia residenziale trilocale analizzata, è dotata di doppio affaccio nord-sud; la zona giorno si apre verso la corte giardino interna, posta in direzione sud, e per tanto è schermata dalla radiazione solare estiva dalla presenza dei balconi esterni, sui quali sono installate delle schermature mobili, per il controllo della luminosità nelle stagioni intermedie.

Complessivamente il fattore medio di luce diurna si attesta sopra il 2%.

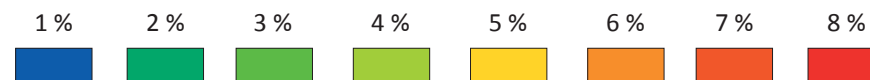
Per quanto riguarda la zona notte, la camera matrimoniale rivolta a nord, presenta un FLDm pari al 2,3%; mentre la camera singola, dotata di un'ampia vetrata rivolta a sud, che costituisce una serra bioclimatica ad apporti diretti, raggiunge un fattore medio del 10,5%.

Quest'ultimo ambiente, data la grande superficie trasparente, necessita di un apposito sistema di schermatura solare: si utilizza una protezione mobile in pannelli opacizzati di polycarbonato che, una volta abbassati, costituiscono una seconda facciata esterna, tale da fermare la radiazione luminosa, instaurando una ventilazione per effetto camino con asportazione dell'aria surriscaldata.

Osservando i grafici dell'illuminanza si nota come la zona giorno del trilocale sia ampiamente illuminata nella stagione invernale, mentre risulti opportunamente schermata nei mesi estivi.

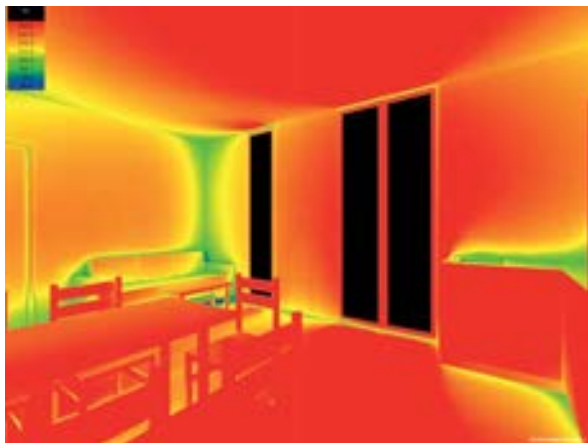
Nella stagione intermedia, è utile la presenza della schermatura mobile posizionata all'esterno in quanto, come si evince anche dallo studio della luminanza, è necessario proteggere il locale da fenomeni di abbagliamento, causati dall'incidenza dei raggi solari, che in questa stagione riescono parzialmente a penetrare la protezione data dai balconi.

#### LEGENDA CROMATICA

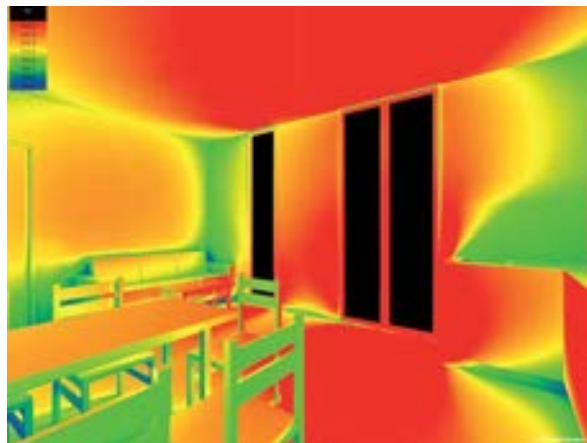




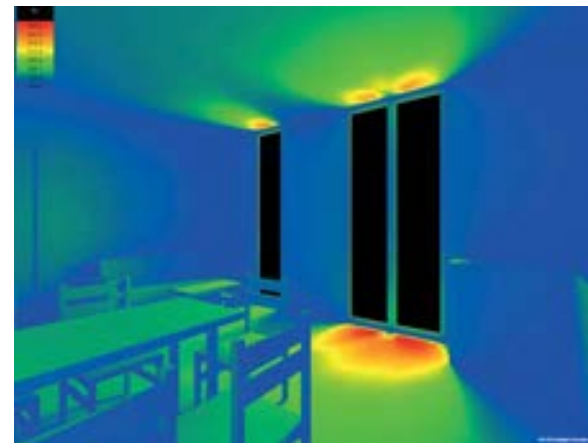
21 DICEMBRE ILLUMINANZA



21 MARZO ILLUMINANZA



21 LUGLIO ILLUMINANZA

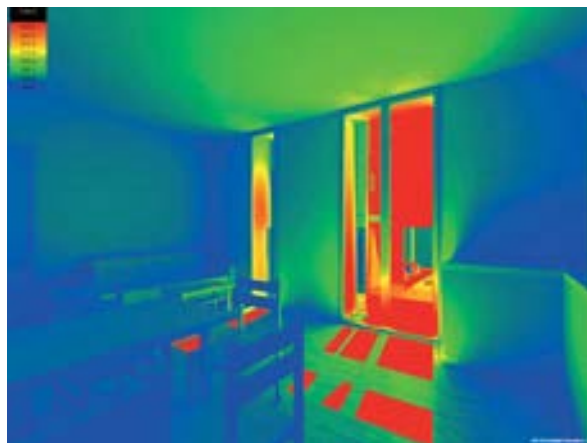


LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Lux

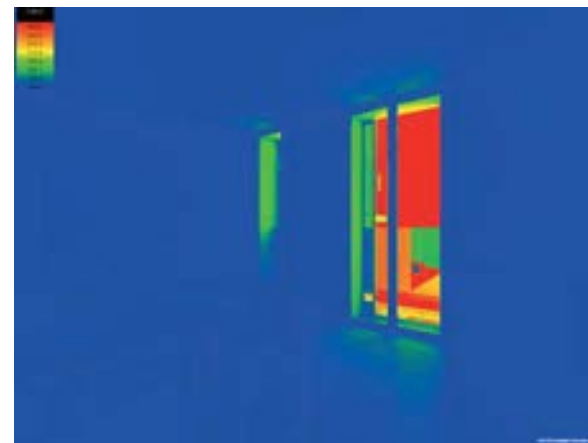
21 DICEMBRE LUMINANZA



21 MARZO LUMINANZA



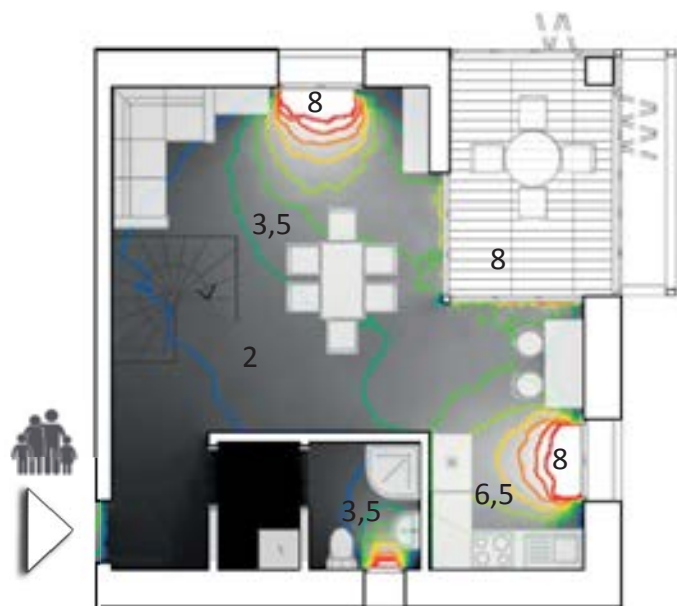
21 LUGLIO LUMINANZA



LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Cd/m<sup>2</sup>

Fig.036 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del trilocale

### 3.3.4 ALLOGGIO DUPLEX



L'appartamento duplex gode di un'esposizione dei locali in direzione sud-est; per tanto valgono le stesse considerazioni enunciate per le tipologie viste in precedenza.

La zona giorno è situata al livello superiore e gode degli apporti di una serra bioclimatica; in generale è raggiunto un valore medio del fattore di luce diurna pari al 3%.

La zona notte, posta al piano inferiore, beneficia in ogni caso di buoni livelli di illuminazione naturale, non essendo presenti ostruzioni eterne, per un valore di FLDm superiore al 3%, in entrambe le camere da letto.

Nonostante il filtro dato dalla serra bioclimatica, la zona giorno presenta buoni livelli di illuminamento, come si evince dai grafici di lato riportati.

Per quanto riguarda fenomeni di discomfort illuminotecnico, le schermature esterne della serra bioclimatica prevengono il verificarsi di situazioni di abbagliamento.

#### LEGENDA CROMATICA

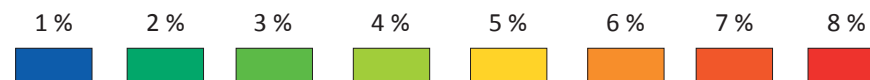
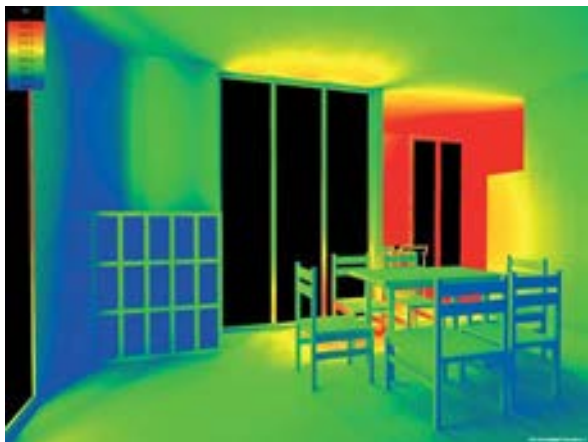
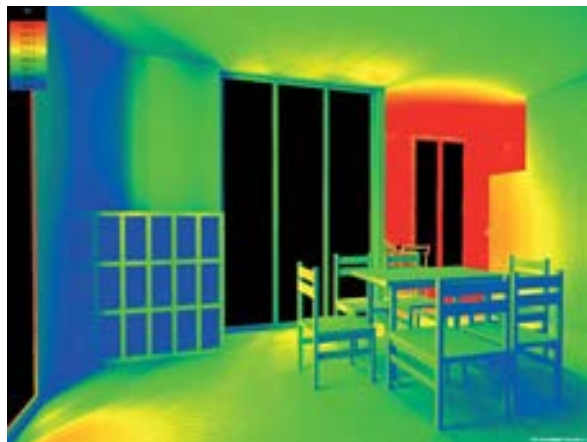


Fig.037 FLD della residenza duplex

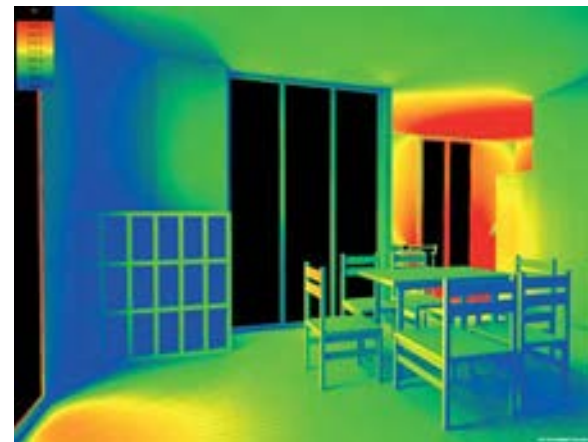
21 DICEMBRE ILLUMINANZA



21 MARZO ILLUMINANZA

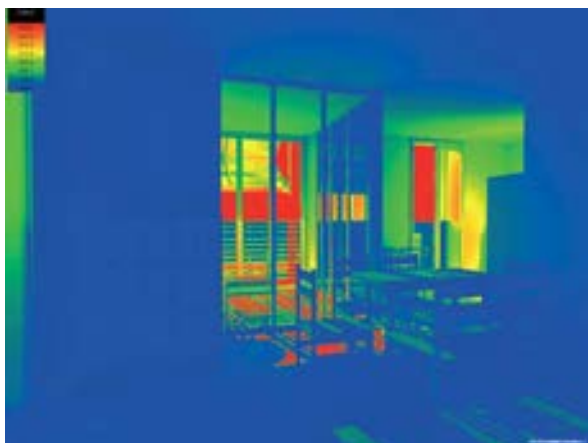


21 LUGLIO ILLUMINANZA

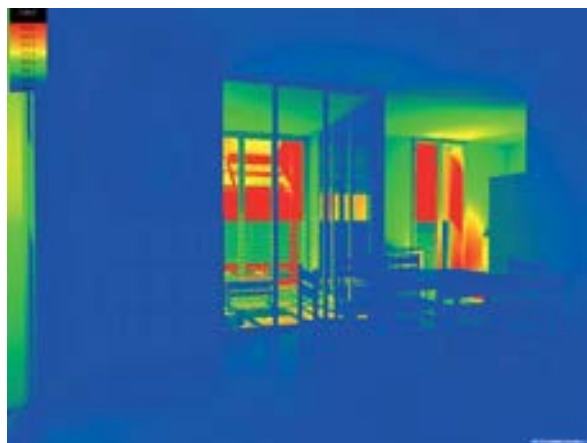


LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Lux

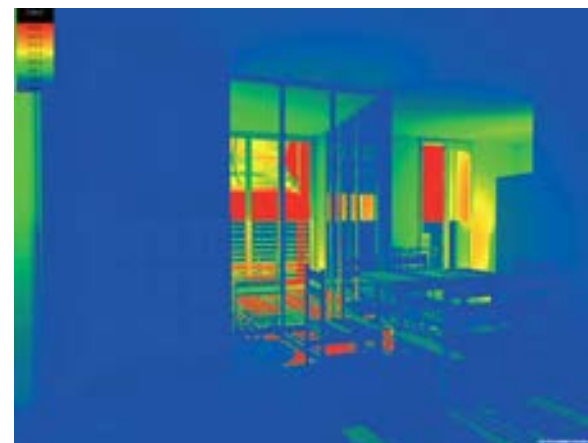
21 DICEMBRE LUMINANZA



21 MARZO LUMINANZA



21 LUGLIO LUMINANZA



LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    Cd/m<sup>2</sup>

Fig.038 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del duplex

### 3.3.5 ALLOGGIO ATTICO

La tipologia residenziale ad attico, pur avendo un orientamento prevalente verso nord-est, con l'eccezione della camera doppia da letto rivolta a sud, dispone della possibilità di ricevere apporti solari dalle finestre poste in copertura.

A partire dall'ingresso sulla destra, in direzione ovest, si trova la zona notte: è presente una camera matrimoniale con doppia esposizione a nord-ovest, per un valore di FLDm del 3,1%; rivolta a sud, minimizzando l'impatto acustico di via Palermo, è la camera doppia che, essendo dotata di una serra bioclimatica che filtra gli apporti luminosi, presenta un valore di FLDm pari al 2%.

Alla sinistra dell'ingresso, verso est, si colloca la zona giorno: inizialmente si trova la sala pranzo con una grande vetrata panoramica su via Palermo, che porta il fattore di luce diurna a superare il 6,5%; proseguendo verso sud si arriva al salotto che è caratterizzato da una doppia altezza ed è illuminato sfruttando l'ampia copertura a falde per il posizionamento di finestre per tetti, che favoriscono l'ingresso di luce zenitale, ottenendo così un FLDm superiore al 4,5%.

Al piano soppalcato si trovano ambienti di studio e di relax che, sempre grazie agli apporti delle finestre in copertura, hanno valori di FLDm che superano il 5%.

Dallo studio dell'illuminanza e della luminanza, si riconferma l'elevata luminosità degli ambienti interni, che non necessitano di ulteriori particolari accorgimenti per la prevenzione di fenomeni di discomfort luminoso, oltre ai sistemi già integrati nelle finestre per tetti.

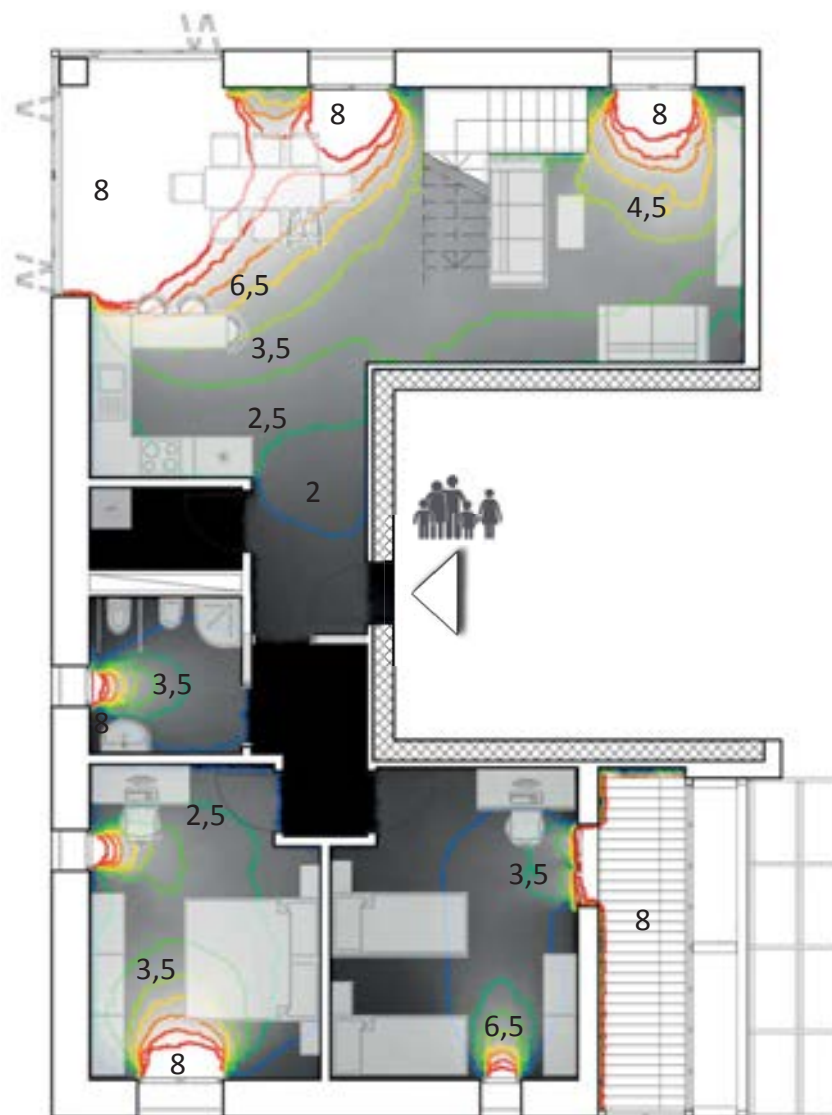
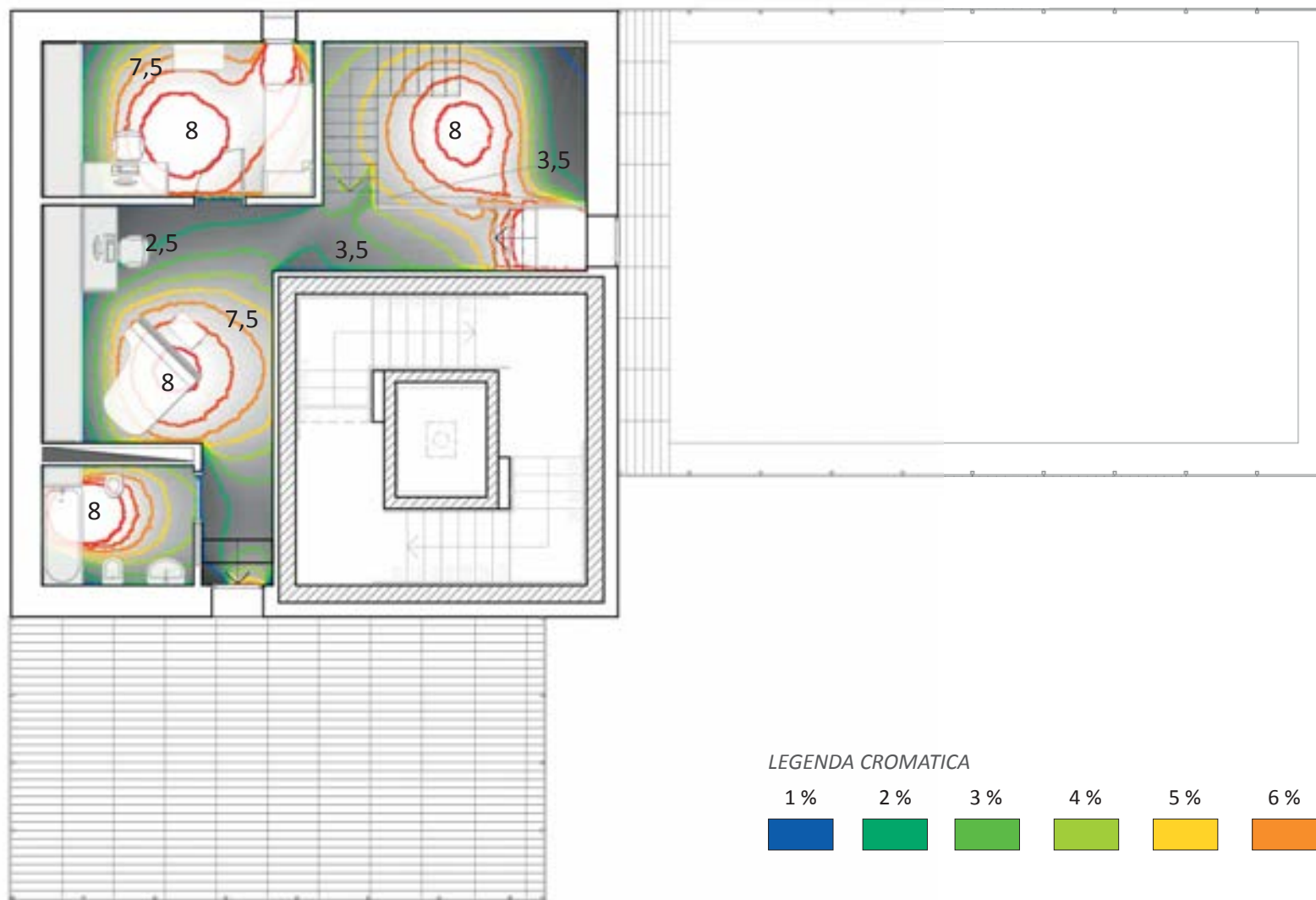


Fig.039 FLD della residenza attico, piano di ingresso





LEGENDA CROMATICA

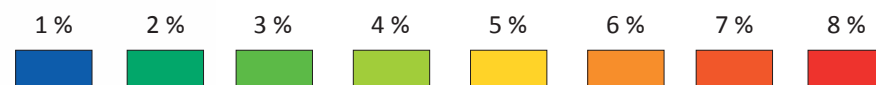
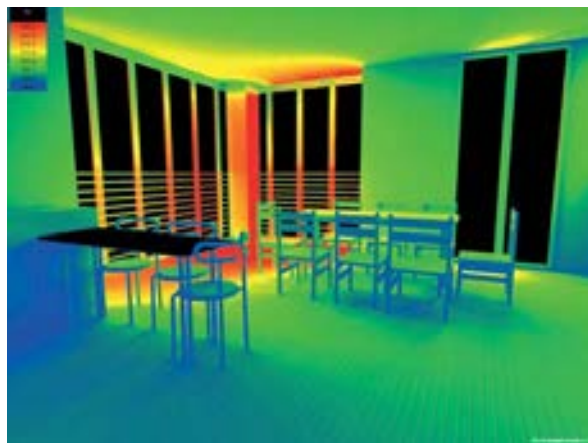
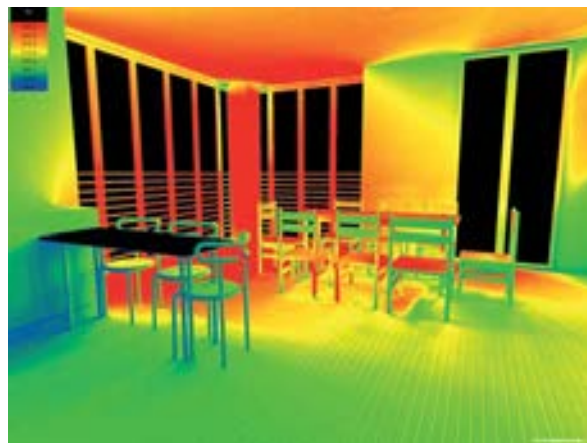


Fig.040 FLD della residenza attico, piano soppalco

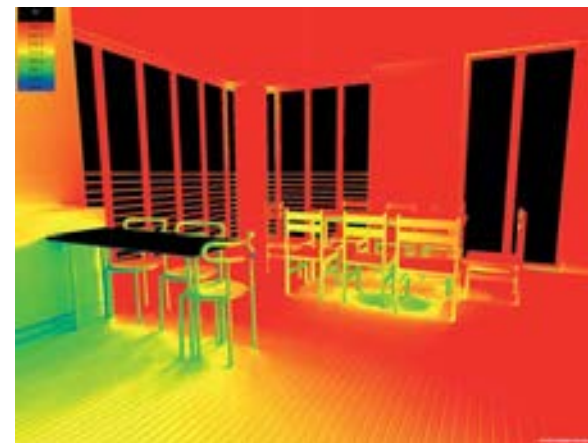
21 DICEMBRE ILLUMINANZA



21 MARZO ILLUMINANZA

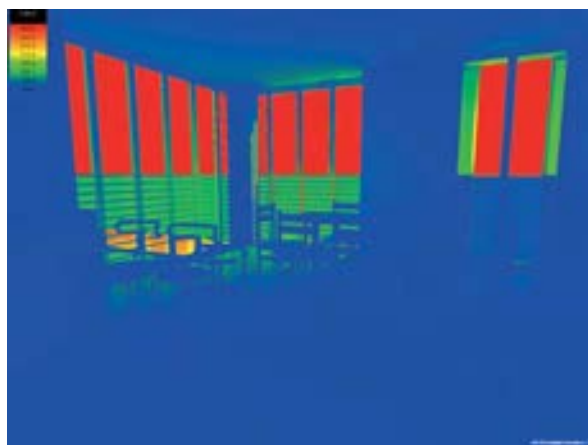


21 LUGLIO ILLUMINANZA

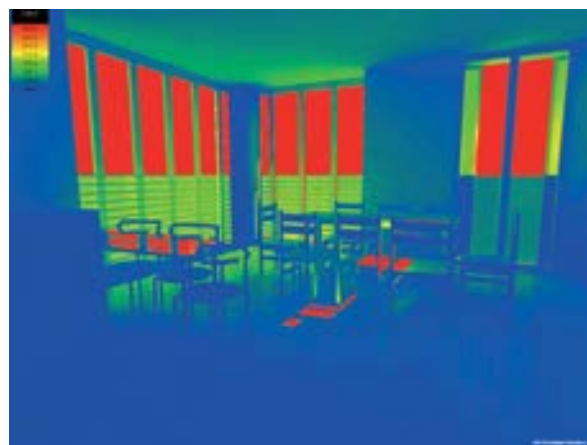


LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    **Lux**

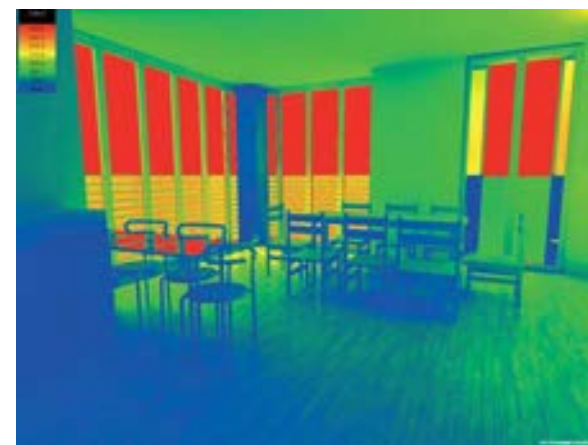
21 DICEMBRE LUMINANZA



21 MARZO LUMINANZA



21 LUGLIO LUMINANZA



LEGENDA CROMATICA    65    125    190    250    315    375    440    500    **Cd/m<sup>2</sup>**

Fig.041 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno dell'attico





## CAPITOLO 4 - TECNOLOGIA COSTRUTTIVA



#### 4.1 **TECNOLOGIE STRUTTURA/RIVESTIMENTO**

- 4.1.1 MATERIALE PER LA STRUTTURA
- 4.1.2 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO TERMICO
- 4.1.3 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO ACUSTICO

#### 4.2 **PRESTAZIONE DEGLI ELEMENTI TECNICI**

#### 4.3 **COMPOSIZIONE DEGLI ELEMENTI TECNICI**

- 4.3.1 CHIUSURE VERTICALI
- 4.3.2 CHIUSURE ORIZZONTALI
- 4.3.3 PARTIZIONI INTERNE VERTICALI
- 4.3.4 PARTIZIONI INTERNE ORIZZONTALI

#### 4.4 **VERIFICHE DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI**



## PREMESSA

Nel quarto capitolo si presenta la scelta tecnologica applicata al progetto: in primo luogo sono stati analizzati i materiali disponibili sul mercato, valutandone le caratteristiche sia prestazionali che di sostenibilità ambientale, in termini di energia incorporata e riciclabilità/riutilizzabilità.

Ponendo attenzione sui requisiti, stabiliti dalle normative vigenti, richiesti agli elementi tecnici che compongono il progetto, sono state assemblate le strutture di tali elementi, svolgendo un'analisi di dettaglio su possibili alternative riguardo ai materiali isolanti.

In particolare, sono stati valutati gli aspetti economici in rapporto ai benefici prestazionali ed ecologici dei materiali esaminati, vertendo la scelta verso un paradigma di sostenibilità ambientale, accettando i maggiori costi che ne derivano.

Una volta progettati i giunti tra i diversi elementi tecnici, riportati in dettaglio nelle tavole allegate nel book A3, si è concluso con la verifica dei ponti termici mediante l'utilizzo del software THERM, confermando le elevate prestazioni energetiche delle scelte effettuate.

## 4.1 TECNOLOGIE STRUTTURA/RIVESTIMENTO

Le sempre crescenti esigenze prestazionali richieste agli elementi tecnici che costituiscono l'edificio, hanno portato alla definizione di prodotti sempre più specifici.

La flessibilità di utilizzo di tali materiali, progettati per essere adattabili con semplici operazioni di taglio o di deformazione plastica, comporta la concezione di involucri e partizioni come assemblaggio di strati dalle funzioni specifiche, la cui totalità fornisce le prestazioni globali dei singoli elementi tecnici.

Questo approccio alla progettazione è denominato a struttura e rivestimento (S/R): secondo questa logica costruttiva vi è una separazione tra la struttura e gli elementi di tamponamento.

In particolare, data la numerosità di materiali che assolvono a specifiche funzioni, emerge la necessità di prestare attenzione a possibili problematiche di compatibilità chimico-fisica tra gli strati assemblati.

La tecnologia stratificata a secco è costituita dall'unione fondamentale di tre fattori:

- *involucro esterno*, la cui funzione è il controllo delle sollecitazioni climatiche esterne e degli scambi con l'ambiente;
- *struttura portante*, che si limita a sorreggere i carichi verticali della costruzione e quelli orizzontali conseguenti alle azioni del sisma e del vento;
- *rivestimento interno*, assolve alle prescrizioni relative al comfort e alla sicurezza dei locali interni.

Inoltre tale tecnologia innovativa, presenta risvolti positivi anche dal punto di vista della sostenibilità ambientale:

- *leggerezza*



Dato che le funzioni specifiche vengono assolte da singoli strati specializzati, la massa è limitata e concentrata nei punti dove è strettamente necessaria, ad esempio per l'ottenimento dell'inerzia termica.

Questo fattore ha ripercussioni positive dal punto di vista sia strutturale che ergonomico.

- *progettabilità*



Dato che le funzioni specifiche vengono assolte da singoli strati specializzati, la massa è limitata e concentrata nei punti dove è strettamente necessaria, ad esempio per l'ottenimento dell'inerzia termica. Questo fattore ha ripercussioni positive dal punto di vista sia strutturale che ergonomico.

- *assemblabilità e reversibilità*



Come già enunciato, l'accostamento di prodotti specifici consente di modulare le prestazioni dell'elemento tecnico in esame secondo i requisiti imposti dalle normative e dalle richieste degli utenti.

Il montaggio a secco delle parti si rivela rapido ed efficiente, non solo minimizzando i tempi del cantiere edile, eliminando le attese per l'asciugatura dei materiali tradizionali, ma anche riducendo l'energia incorporata nell'edificio, dovuta alle operazioni di trasporto al cantiere e messa in opera.

- *riciclabilità*



Le connessioni sono in genere reversibili e i componenti separabili, facilitando le operazioni di manutenzione, ispezionabilità e la sostituzione di elementi danneggiati.

Il fattore di reversibilità esposto precedentemente consente, inoltre, di disassemblare la costruzione recuperandone i componenti, di cui è possibile il riutilizzo o il facile e corretto smaltimento.

Grazie a questa metodologia costruttiva sono perseguibili elevate prestazioni dell'edificio oggetto di progettazione, si ottengono diminuzioni significative del dispendio energetico imputabile al settore delle costruzioni.

La casa passiva di Chignolo d'Isola è il primo esempio di edificio passivo costruito in Italia, divenuto paradigma delle costruzioni energeticamente efficienti.



Fig.001 Passivhaus - Chignolo d'Isola (BG), realizzata da Vanoncini nel 2000

#### 4.1.1 MATERIALE PER LA STRUTTURA

Rimanendo nel tema della sostenibilità, si è scelto per la struttura dell'edificio un materiale caratterizzato dall'elevata durabilità nel tempo e dalla riciclabilità: l'acciaio è recuperabile al 100% senza perdere le sue proprietà, essendo facilmente separabile dagli altri materiali.

Il ciclo di vita di un fabbricato in acciaio è molto più lungo rispetto a quello tipico di una struttura tradizionale, con l'ulteriore possibilità di modificare la destinazione d'uso e la disposizione interna senza gravose lavorazioni.

Quando l'acciaio è zincato o verniciato, mantiene le caratteristiche meccaniche e chimiche nel tempo.

In seguito ad un'opportuna progettazione strutturale, si ottengono costruzioni metalliche caratterizzate da snellezza e leggerezza, senza tralasciare gli aspetti della sicurezza; inoltre l'ingombro ridotto di tali strutture ne consente una migliore integrazione all'interno degli elementi tecnici di progetto, difficilmente ottenibile con strutture tradizionali.

La leggerezza strutturale si ripercuote anche sugli aspetti della rapidità costruttiva e del risparmio nelle fondazioni.

L'elevato livello di prefabbricabilità delle costruzioni in acciaio, realizzate in officina e assemblate in cantiere, riduce altresì i fattori di rischio tipici delle costruzioni in opera in cantiere.

Il fattore di standardizzazione degli elementi realizzati con questo materiale è un elemento importante nell'analisi del costo finale, in relazione anche alla minore manodopera necessaria; la facilità di assemblaggio consente una rapida realizzazione dei manufatti, ottimizzando le risorse.

Infine, dal punto di vista delle azioni sismiche, le strutture metalliche dissipano energia grazie alle proprie proprietà plastiche che, combinate con pesi inferiori ad analoghe soluzioni tradizionali, portano a minori sollecitazioni del fabbricato.



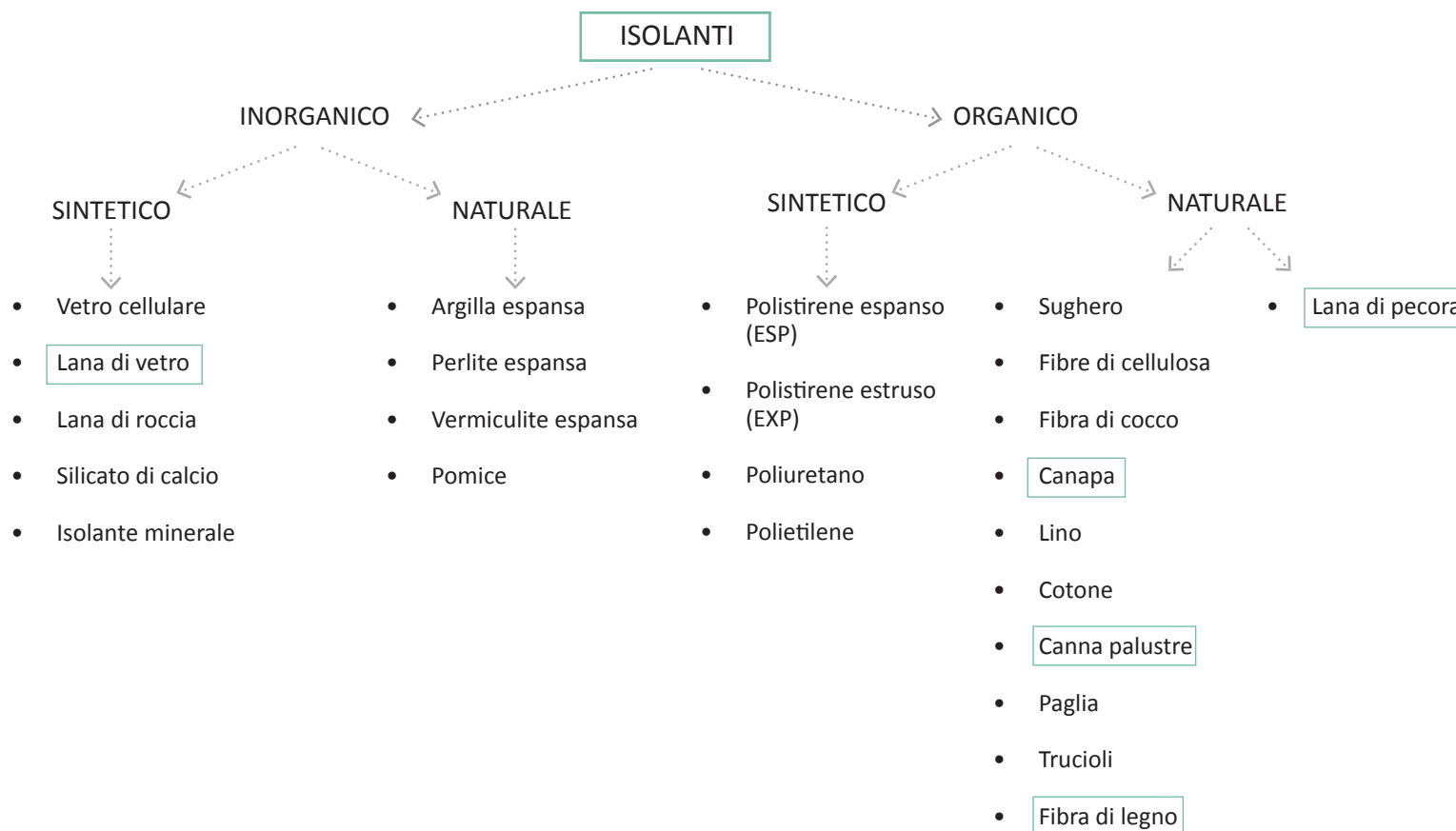
#### 4.1.2 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO TERMICO

L'isolante termico è un materiale in grado di opporsi al flusso termico proprio dello scambio di calore tra ambiente interno ed esterno.

Un edificio di nuova costruzione necessita di mantenere condizioni climatiche interne il più costanti possibile; per questo motivo ogni elemento tecnico che lo compone deve essere caratterizzato da idonei valori di resistenza termica.

In generale i materiali isolanti, disponibili sul mercato, si distinguono in base alla composizione chimica e si differenziano tra organici e inorganici.

Nella definizione del progetto si sono valutate quattro alternative per la scelta dell'isolamento termico, basandosi su valutazioni circa gli aspetti economici, gli aspetti prestazionali e gli aspetti di sostenibilità ambientale, specialmente in termini di energia incorporata nella costruzione.



## LANA DI VETRO

Tra i materiali isolanti inorganici e sintetici, la lana di vetro e di roccia sono prodotti molto simili e sono in genere definiti come isolanti a base di fibre minerali.

La lana di vetro è composta dal 65% di sabbia quarzosa o vetro vecchio, dal 14% di soda, dal 7% di dolomite, dal 4% di feldspato e dal 4% di calcare.

Nel caso della lana di roccia si tratta di: 97% di diabase, basalto e dolomite; la roccia è fusa ad una temperatura di circa 1.400°C e filata in fibre minerali artificiali.

Le fibre vengono miscelate con il legante bakelite, una resina fenolo-formaldeide: a seconda della stabilità meccanica necessaria, la percentuale di legante può variare tra il 3% e il 19% in peso per la lana di vetro e tra l'1% e il 4% in peso per la lana di roccia; rimane per tanto un residuo di formaldeide, anche se inferiore al limite espresso dall'Organizzazione Mondiale della Sanità di 0,1 ppm.

Gli isolanti in fibre minerali sono utilizzabili in tutti i campi di applicazione, ad eccezione delle pareti a contatto con il terreno e dei tetti a struttura inversa.

Le proprietà termoisolanti del materiale si attestano su buoni livelli, con una conducibilità termica pari a  $\lambda = 0,035 \div 0,04 \text{ W/mK}$ ; inoltre si denotano una buona resistenza all'invecchiamento e una stabilità di forma, a condizione che sia protetto contro l'umidità.

La permeabilità al vapore è pari a  $\mu = 1 \div 2$  e le prestazioni diminuiscono considerevolmente in caso di idratazione.

Il materiale è non infiammabile, tuttavia in caso di incendio, sopra i 250°C, il legante si volatilizza provocando un insaccamento dell'isolante.

Dal punto di vista ambientale, le materie prime di natura minerale sono disponibili in quantità praticamente inesauribili; d'altro canto l'inquinamento provocato durante la produzione deriva dal consumo di energia necessario per la fusione delle sostanze minerali di partenza.

Per quanto riguarda l'interazione con l'uomo, durante la lavorazione delle fibre minerali si può avvertire una sensazione di irritazione della pelle dovuta all'azione meccanica delle fibre stesse.

Nel caso della produzione di grandi quantità di polveri, possono essere provocati disturbi e sensazioni d'irritazione alle vie respiratorie e agli occhi.

Riguardo lo smaltimento, è possibile riutilizzare il materiale isolante se non impregnato di umidità o contaminato.



Fig.002 Immagine isolante in lana di vetro

## CANAPA

Nella famiglia degli isolanti organici naturali, la canapa è una pianta coltivata che in tre mesi raggiunge un'altezza di quattro metri e la sua coltivazione esercita un'azione favorevole per il terreno; non necessita di pesticidi o di erbicidi.

Per garantire stabilità di forma, i prodotti sono spesso integrati con un 10 ÷ 15% di fibre in poliestere; a volte si trova una percentuale di lana di pecora che va dal 3% al 10%.

I materiali isolanti a base di canapa sono adatti a tutte le applicazioni comuni: sia come pannelli per pareti o solai, sia come materiale di riempimento.

La fibra di canapa è estremamente resistente allo strappo e all'umidità, assorbe un contenuto d'acqua fino ad un terzo del proprio peso e si asciuga senza alcuna dispersione termica.

Presenta inoltre una capacità di accumulo del calore migliore rispetto a quella di altri materiali isolanti a base di fibre minerali.

Le proprietà termoisolanti sono buone, con un coefficiente di conducibilità termica  $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ ; mentre la resistenza alla diffusione del vapore acqueo è  $\mu = 1$ .

La resistenza al fuoco è migliorata mediante un trattamento a base di soda, fosfato di ammonio e sali di boro, pur non raggiungendo le prestazioni dei materiali inorganici.

Dal punto di vista ambientale, la coltivazione estensiva della canapa è ideale per l'agricoltura ecologica: essa funge da diserbante naturale, soffocando le piante infestanti.

Le sue buone caratteristiche consentono di utilizzare il prodotto aggiungendo poche sostanze del tutto innocue per la salute umana; durante la lavorazione non fuoriescono fibre dal potenziale nocivo.

Solo l'aggiunta di fibre di poliestere relativizza un po' il bilancio ecologico positivo.

La canapa dopo essere stata smontata può essere riutilizzata oppure, se trattata con sali di ammonio, può essere destinata al compostaggio: le fibre di poliestere però non si degradano e devono successivamente essere eliminate.

Le varianti contenenti sale di boro non sono adatte al compostaggio.



Fig.003 Immagine isolante in canapa

## CANNA PALUSTRE

Sempre appartenente alla famiglia degli isolanti organici naturali, la canna palustre è un materiale biologico che si ricava dalle piante site nelle aree di palude e lungo i corsi d'acqua, i laghi e i canali.

Il materiale è ideale per applicazioni a cappotto, essendo traspirante e immarcescibile, non assorbe umidità e garantisce valori termici costanti. Grazie all'elevata densità si ottengono eccellenti fattori di attenuazione e sfasamento.

La conducibilità termica è di  $\lambda = 0,056 \text{ W/mK}$ ; mentre la resistenza alla diffusione del vapore acqueo è  $\mu = 1$ .

I pannelli di canna palustre sono assolutamente non tossici e in nessuna fase, dalla raccolta alla lavorazione, sono dannosi alla salute o alla natura.

Tali prodotti sono riutilizzabili, se smontati interi, altrimenti sono biodegradabili.



Fig.004  
Immagine isolante in canna palustre



Fig.005  
Immagine isolante in fibra di legno

## FIBRA DI LEGNO

Come ulteriore materiale appartenente alla categoria degli isolanti organici naturali, i pannelli in fibra di legno vengono realizzati con legno di abete rosso o di pino; in genere la materia prima è costituita da residui di segheria.

Il legno viene frantumato e quindi scomposto in fibre di legno fini mediante procedimenti termici e meccanici, le resine naturali proprie del legno conferiscono al pannello, dopo l'essiccazione, la stabilità necessaria senza aggiunte di altri leganti.

Per rendere i pannelli resistenti all'umidità sono utilizzate alcune sostanze idrofobizzanti: lattice, cera e un surrogato di bitume a base di resina naturale.

I pannelli in fibra di legno sono realizzati in vari spessori, per applicazioni sia all'interno che all'esterno dell'edificio.

Il materiale è permeabile al vapore acqueo,  $\mu = 5$ .

L'effetto termoisolante è buono e pari a  $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ , per di più rispetto ad altri materiali isolanti risulta una maggiore capacità di accumulo del calore importante soprattutto ai fini dello sfasamento e dell'attenuazione dei picchi termici.

La resistenza al fuoco è la stessa di tutti i materiali organici naturali.

Le materie prime sono rinnovabili e pertanto disponibili in misura praticamente illimitata per il relativo utilizzo, tuttavia il consumo di energia durante la produzione è relativamente alto.

L'inquinamento ambientale per effetto delle acque sporche generate durante la produzione viene ridotto al minimo attraverso la circolazione in circuiti chiusi.

I resti dei pannelli isolanti in fibra di legno possono essere lavorati per produrre nuovi materiali isolanti oppure destinati al compostaggio.



## LANA DI PECORA

L'ultimo isolante organico naturale esaminato, la lana di pecora è caratterizzata da un'elevata disponibilità:

nel mondo vi sono più di 1,2 miliardi di capi ovini e la tosatura, obbligatoria per la buona salute dell'animale, permette di ottenere da 2,5 a 5 kg di lana all'anno.

La lana, così ottenuta, viene lavata con saponi naturali e trattata con sostanze protettive anti-tarme; successivamente sono realizzati i materassini isolanti con tre sole lavorazioni meccaniche: cardatura per l'omogeneità, agugliatura per la compattezza ed il taglio per ottenere le misure desiderate; il tutto senza uso di leganti sintetici o naturali.

Le lane migliori per l'edilizia sono le più grosse e arricciate, inadatte alla trasformazione tessile e, fino ad oggi, destinate allo smaltimento.

Le lane di pecora vengono distribuite in forma di feltri isolanti, in rotoli da utilizzare a riempimento delle intercapedini, sia verticali che orizzontali, impiegato come isolamento termico e acustico.

L'ottima conduttività termica è pari a  $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$ ; la permeabilità al vapore è pari a  $\mu = 2$ .

La lana è impermeabile all'acqua ma permeabile al vapore, che viene assorbito e ceduto senza alcun degrado prestazionale.

Recenti scoperte hanno confermato la capacità della lana di assorbire e neutralizzare sostanze nocive come la formaldeide,  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ , presenti tra le mura domestiche.

Utilizzando materiali traspiranti garantisce la depurazione dell'aria da questi composti tossici.

Temperatura di incendio  $600^\circ \text{C}$ ; carbonizza velocemente senza trasmettere la fiamma.

La temperatura di esercizio varia da  $-60^\circ \text{C}$ . a  $+80^\circ \text{C}$ .; perciò il materiale non risente di sbalzi di temperatura e può essere impiegato tranquillamente anche sotto le coperture dei tetti in metallo.

L'allevamento ovino estensivo contribuisce alla conservazione del paesaggio; nelle regioni europee la lana di pecora è un sottoprodotto dell'allevamento di pecore madri e appare opportuno trasformare la lana in eccedenza in un prodotto a lunga durata.

Esso proviene da una fonte rinnovabile ed è l'unico prelievo di materia prima che non rappresenti un danno o un impoverimento per l'ambiente.

Il dispendio di energia per la produzione dei materiali isolanti a base di lana di pecora è in proporzione piuttosto basso: la lavorazione avviene a bassissime temperature e meccanicamente.

A differenza delle fibre vegetali la lana di pecora deve essere trattata contro le tarme, ma una volta montato il materiale non crea alcun problema.



Fig.006 Immagine isolante in lana di pecora

### 4.1.3 MATERIALE PER L'ISOLAMENTO ACUSTICO

A seguito di urti o attriti, all'interno di un mezzo elastico si propaga un'onda acustica; parte dell'energia è assorbita dal mezzo di diffusione a causa degli attriti interni e, in corrispondenza di una superficie di discontinuità, essa è divisa in due componenti: un'onda trasmessa e un'onda riflessa.

A seconda delle caratteristiche del materiale in cui l'energia si propaga, sono possibili due fenomeni:

- fonoisolamento, ovvero il materiale ostacola la trasmissione dell'onda;
- fonoassorbimento, quando è attenuata la componente riflessa dell'onda.

Un materiale possiede un potere fonoisolante tanto maggiore quanto elevata è la sua massa.

Per ottimizzare l'isolamento acustico in rapporto ai pesi degli elementi tecnici di progetto, si sfrutta il meccanismo di dissipazione delle onde che si instaura attraverso la giustapposizione di materiali fonoisolanti con altri fonoassorbenti.

I materiali fonoassorbenti sono utili per ridurre e correggere le caratteristiche dell'onda acustica, ovvero per modularne la velocità e l'ampiezza.

La dissipazione per assorbimento è ottenuta: per porosità, per risonanza di membrana, per risonanza di cavità.

- *Assorbimento per porosità*

L'assorbimento per porosità è dovuto essenzialmente all'attrito che l'onda sonora incontra nell'attraversare la struttura del materiale poroso:

l'aria contenuta nei pori è indotta in uno stato di vibrazione dalle variazioni di pressione che accompagnano l'onda acustica e una parte dell'energia viene trasformata in calore dall'attrito interno.

- *Risonanza di membrana*

L'assorbimento dell'energia acustica è dato da un elemento a diaframma: la camera d'aria, formata tra tale elemento e la struttura retrostante, comporta una resistenza alla vibrazione del diaframma stesso, dissipandone l'energia.

Particolare attenzione è posta nel fissaggio dell'elemento diaframma, impedendo le trasmissioni della vibrazione.

- *Risonanza per cavità*

L'assorbimento avviene sfruttando il principio della risonanza di Helmholtz: le cavità, che fungono da risuonatori, agiscono come smorzatori dinamici per le onde sonore dell'ambiente, che subiscono lo smorzamento provocato dalle continue depressioni che avvengono all'imbocco delle cavità.

### GOMMA RICICLATA

Come isolante acustico, in un'ottica di sostenibilità ambientale, si è scelto di utilizzare materassini di gomma ottenuta dal recupero di pneumatici macinati legati da una matrice di polimeri nobili.

I rotoli di materiale isolante sono caratterizzati da una "pelle" superficiale nel lato superiore e da una finitura "grezza" sul lato a diretto contatto con la superficie da isolare.

Gli elastomeri che compongono la gomma hanno un comportamento e caratteristiche fisiche ottimali ai fini dell'isolamento del rumore e delle vibrazioni solide: le molecole, disposte in modo disordinato, girano e si aggrovigliano tra loro, dissipando l'energia.

Questo porta ad ottenere un indice di miglioramento del rumore da calpestio pari a 29 dB, secondo quanto specificato dalla norma UNI EN ISO 12354-2.

Il materiale presenta differenti vantaggi:

- ottima resistenza allo schiacciamento;
- prestazioni costanti nel tempo;
- completa riciclabilità, ottenuto per il 90% da prodotti di riciclo e a sua volta riciclabile al 100%;
- facilità di posa;
- assenza di tossicità.



Fig.007 Immagine del materassino in gomma riciclata

## 4.2 PRESTAZIONI DEGLI ELEMENTI TECNICI

Nel perseguire criteri di progettazione ad alta efficienza energetica, si individuano gli elementi tecnici che compongono il sistema edilizio, ripartiti secondo quanto specificato nella norma UNI8290-1 del 1981 secondo tre livelli di scomposizione:

- classi di unità tecnologiche (primo livello), indicano la funzione dominante convenzionalmente attribuita all'oggetto, come parte del sistema edilizio, quale strutturale, di chiusura o di partizione.
- unità tecnologiche (secondo livello), rappresentano le diverse declinazioni funzionali degli elementi della suddivisione precedente.
- classi di elementi tecnici (terzo livello), corrispondono a classi di prodotti che caratterizzano la risposta complessiva o parziale alle funzioni delle unità tecnologiche.

Dopo aver individuato gli elementi tecnici che compongono l'edificio di progetto, sono stati presi in considerazione i valori limite, forniti dal D.M. 11 marzo 2008, Art. 2, Allegato B, "Definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica", al fine di effettuare le scelte relative alle prestazioni dell'involucro e alle modalità per l'ottenimento delle stesse. Di seguito si riporta la tabella contenente i valori massimi di trasmittanza termica e delle chiusure per gli edifici realizzati a partire dal 1 gennaio 2010

Tabella 2. Valori limite della trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espressa in (W/m<sup>2</sup>K)

Zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate		finestre comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,56	0,34	0,59	3,9
B	0,43	0,34	0,44	2,6
C	0,36	0,34	0,38	2,1
D	0,30	0,28	0,30	2,0
E	0,28	0,24	0,27	1,6
F	0,27	0,23	0,26	1,4

(\*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

Fig.008 Estratto del D.M. 11 marzo 2008

Superando i limiti imposti dalla normativa italiana, al fine di perseguire la progettazione di un edificio a bilancio energetico quasi nullo, come da Direttiva Europea 2010/31/UE, si è inoltre fatto riferimento agli standard prestazionali dettati dall'Istituto Passivhaus.

Per il calcolo delle prestazioni degli elementi tecnici del progetto, si fa riferimento alla norma tecnica UNI EN ISO 13786, che permette di controllare il comportamento in regime dinamico di suddetti elementi.

### TRASMITTANZA TERMICA STAZIONARIA

La trasmittanza termica stazionaria U indica la quantità di calore che viene dispersa da un metro quadrato di involucro dell'edificio ed è definita dall'inverso della somma delle resistenze termiche R degli strati che costituiscono la chiusura:  $U = 1/R_{tot}$

A bassi valori di trasmittanza termica corrispondono una minore dispersione del calore e una migliore coibentazione.

La resistenza termica R è determinata dal rapporto tra spessore s dello strato e conducibilità termica  $\lambda$  del materiale di cui è composto lo strato stesso:  $R = s / \lambda$   
La resistenza termica liminare è relativa alla resistenza termica complessiva offerta dalle resistenze in parallelo dovute all'irraggiamento ed alla convezione alla superficie del solido:  $R_{i,e} = 1/h_{i,e}$

- $h_i$  [W/m<sup>2</sup>K] è il coefficiente di scambio termico per irraggiamento e convezione tra l'ambiente interno e la superficie del componente edilizio;
- $h_e$  [W/m<sup>2</sup>K] è il coefficiente di scambio termico per irraggiamento e convezione tra la superficie del componente edilizio e l'ambiente esterno.

La resistenza termica globale è quindi data dalla sommatoria delle resistenze termiche liminari sulle due facce, interna ed esterna, del componente e dalla resistenza termica per conduzione:

$$R_T = 1/h_i + \sum R_i + 1/h_e \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

ed il coefficiente di trasmittanza termica stazionaria è:

$$U = 1 / (1/h_i + \Sigma R_{int} + 1/h_e) [W/m^2K]$$

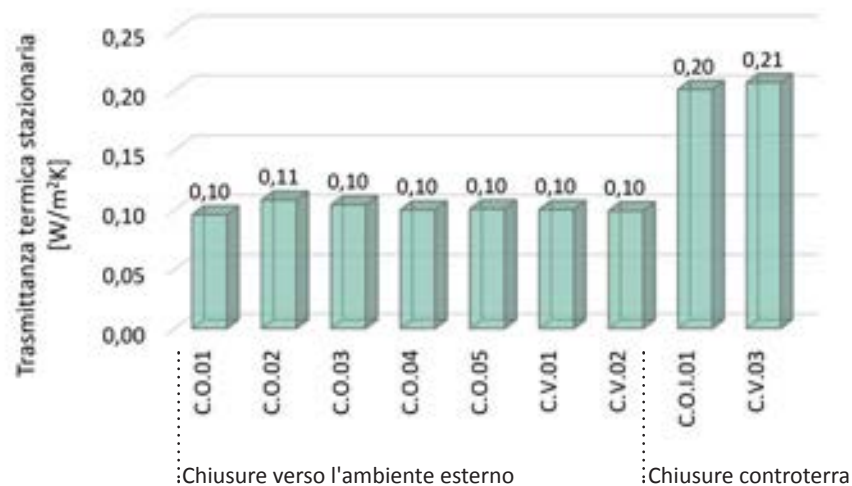


Fig.009 Confronto delle trasmittanze termiche stazionarie per gli elementi di involucro

Come precedentemente enunciato, sono stati perseguiti valori di trasmittanza termica inferiori al limite di riferimento di 0,15 W/m²K, secondo quanto riportato dall'Istituto Passivhaus.

In particolare, tutti gli elementi di involucro in contatto con l'atmosfera esterna sono stati progettati ottenendo un valore della trasmittanza termica prossimo agli 0,10 W/m²K; limitatamente alle chiusure controterra sono stati ammessi valori maggiori, considerate le minori dispersioni che avvengono verso il terreno.

## FATTORE DI ATTENUAZIONE

f è il fattore di attenuazione calcolato come il rapporto tra il flusso termico in condizioni reali ed il flusso termico in assenza di accumulo di calore riferiti alla medesima stratigrafia:

$$f = q_{max} / q'_{max}$$

Il flusso termico in condizioni reali  $q_{max}$  introduce il concetto periodico-dinamico. Esso si calcola attraverso la soluzione dell'equazione generale della conduzione del calore in regime variabile (periodico - dinamico).

Il flusso termico in assenza di accumulo di calore  $q'_{max}$  è pari al prodotto della trasmittanza termica in regime stazionario U per la differenza di temperatura tra il valore massimo esterno ed il valore interno  $T(e_{max}, i)$ :

$$q'_{max} = U * T(e_{max}, i)$$

L'intervallo di valori del fattore di attenuazione f è compreso tra 0 e 1:

- 0 corrisponde alla situazione limite di totale accumulo di calore;
- 1 corrisponde alla situazione limite di accumulo di calore nullo.

Secondo quanto riportato nel Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009, "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", è definita una classificazione, valida per tutte le destinazioni d'uso, dei parametri qualitativi dinamici, quali lo sfasamento e l'attenuazione.

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V

Fig.010  
Estratto del  
D.M.26/06/2009



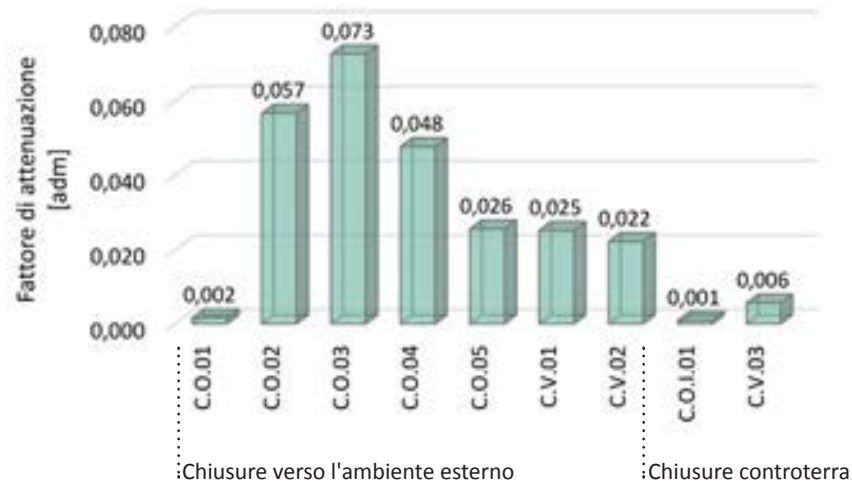


Fig.011 Confronto dei fattori di attenuazione per gli elementi di involucro

Secondo quanto si osserva nella tabella del Decreto Ministeriale precedentemente riportata, tutti gli elementi tecnici presentano un valore di attenuazione ben al di sotto dello 0,15 che caratterizza la classe di qualità prestazionale massima.

Pertanto dal punto di vista dell'attenuazione dell'onda termica, importante in particolare nel periodo estivo, tutte le componenti dell'involucro risultano in classe I.

## SFASAMENTO

Lo sfasamento, ovvero sfasamento dell'onda termica, viene definito come la capacità di un elemento di accumulare calore e rilasciarlo in modo ritardato nel tempo.

Esso rappresenta il ritardo temporale del picco di flusso termico della parete capacitiva rispetto a quello istantaneo, nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame. Si ha un valore accettabile di sfasamento quando esso supera le 8 ore e, in particolare, non minore di 10 ore nelle zone geografiche con climi estivi estremi.

Generalmente si assumono 10 ore come parametro ottimale, per permettere di dissipare il calore diurno accumulato dall'elemento tecnico durante le ore più fredde della giornata. In tal modo il carico termico assorbito dall'involucro nell'arco giornaliero, in inverno si prolunga durante le ore serali diminuendo il fabbisogno energetico; in estate se ne permette l'asportazione notturna tramite ventilazione naturale.

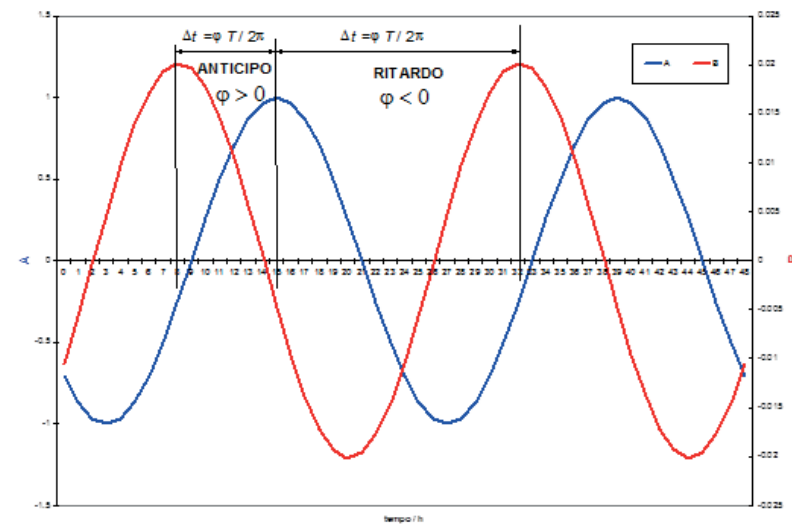


Fig.012 Rappresentazione di grandezze sinusoidali con sfasamento



Fig.013 Confronto degli sfasamenti per gli elementi di involucro

Anche nel caso dello sfasamento dell'onda termica, si fa riferimento al Decreto Ministeriale del 26/06/2009, in particolare alla tabella riportata in precedenza.

Si osserva che in generale le prestazioni dell'involucro si attestano su valori ottimi, portando tutti gli elementi tecnici ad essere posti in classe I.

Il caso particolare della chiusura orizzontale C.O.01 è dato dal fatto che lo sfasamento supera le 24 ore, pertanto è riportato il valore eccedente tale soglia; ciò non toglie che tale elemento tecnico sia comunque in classe prestazionale I.

Un discorso a parte è fatto per le chiusure controterra: dato che sono a contatto con il terreno presentano delle condizioni al contorno molto più stabili rispetto alle parti di involucro esposte all'atmosfera esterna; pertanto i valori di sfasamento riportati sono puramente indicativi e non inficiano sulle prestazioni dell'edificio.

## TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

Solitamente, per il periodo invernale, si calcola la dispersione del calore attraverso gli elementi tecnici dell'involucro secondo un regime stazionario, ovvero ipotizzando la differenza tra la temperatura esterna e quella interna costante nel tempo.

Nella realtà la temperatura esterna varia tra il dì e la notte secondo ritmi sinusoidali che, nel periodo estivo, diventano rilevanti nel valutare gli scambi termici dell'involucro; si rende pertanto necessario un approccio dinamico al problema.

A questo proposito si fa ricorso alla trasmittanza termica periodica  $Y_{i,e}$  definita dalla norma tecnica di riferimento UNI EN ISO 13786:2008 come il prodotto del fattore di attenuazione  $f$  (riferito a una sollecitazione armonica nell'arco di 24 ore) per la trasmittanza termica stazionaria  $U$ :

$$Y_{i,e} = f * U$$

Tale parametro è in grado di valutare la capacità di un elemento opaco di sfasare ed attenuare il flusso termico attraversante un metro quadrato di superficie d'involucro dell'edificio nell'arco di 24 ore.

L'utilizzo di questo fattore è stato introdotto anche dalla normativa sulle "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", D.M. 26 giugno 2009

Inoltre, la normativa italiana fornisce delle prescrizioni riguardo la trasmittanza termica periodica e la massa degli elementi tecnici che costituiscono l'involucro; in particolare, nel Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 del 2 aprile 2009 si riporta quanto segue:

"Per tutte le categorie di edifici, il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, esegue in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva,  $I_{m,s}$  sia maggiore o uguale a  $290 \text{ W/m}^2$ :

- relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est, almeno una delle seguenti verifiche:
  - che il valore della massa superficiale  $M_s$  sia superiore a  $230 \text{ kg/m}^2$ ;
  - che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$  sia inferiore a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate, che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$  sia inferiore a  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ."

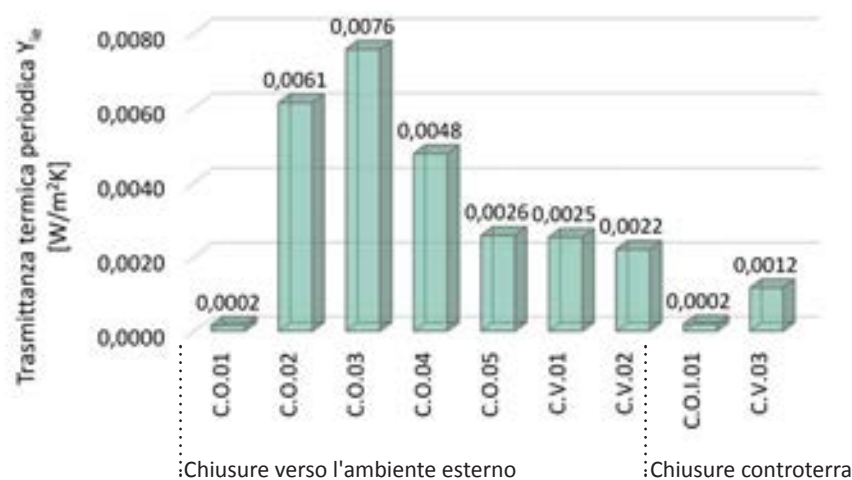


Fig.014 Confronto delle trasmittanze termiche periodiche per gli elementi di involucro

Per la trasmittanza termica periodica, si riscontra dal grafico come essa sia, per tutti gli elementi dell'involucro, ben al di sotto del valore limite di  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$  riportato nella normativa di riferimento.

La verifica effettuata permette di ovviare alle imposizioni riguardo alla massa degli elementi tecnici; in quanto la tecnologia costruttiva a struttura e rivestimento, caratterizzata dalla leggerezza degli elementi di progetto, rende difficile il rispetto di suddette restrizioni.

Di seguito si riporta la valutazione sul peso per unità di superficie degli elementi tecnici progettati; si nota come solo per le coperture a giardino e le chiusure controterra, la cui composizione comprende uno strato strutturale in calcestruzzo armato, si rispettino le verifiche proposte dalla norma.

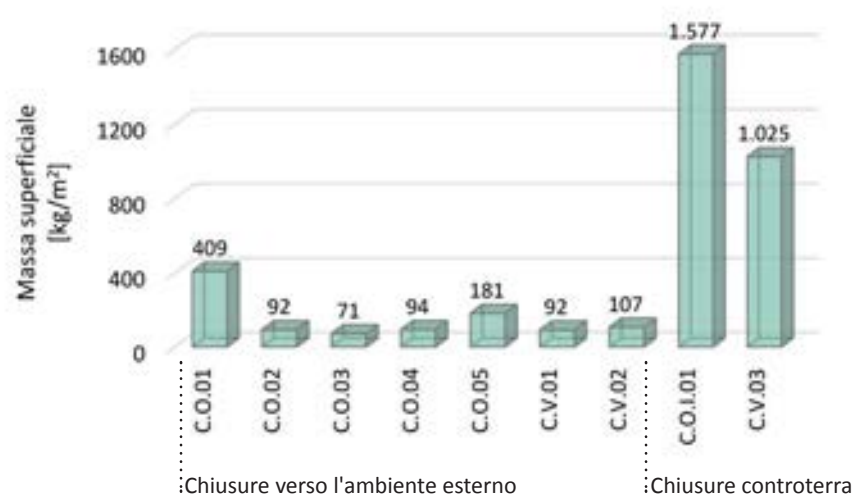


Fig.015 Confronto delle masse superficiali per gli elementi di involucro

## CAPACITÀ TERMICA AREICA

Il calcolo della capacità termica di una struttura composta da più strati è un algoritmo piuttosto complesso che prevede il ricorso a funzioni di trasferimento.

Il metodo di calcolo più semplice è quello disponibile nell'appendice A della norma UNI EN ISO 13786 secondo la quale, la capacità termica areica di una struttura viene calcolata con la formula:

$$k_j = \sum \rho_i * d_i * c_i$$

dove,

$\rho_i$  è la densità del materiale, in  $\text{kg}/\text{m}^3$

$d_i$  è lo spessore, in m

$c_i$  è la capacità termica specifica del materiale, in  $\text{J}/(\text{kg K})$

In inverno il fattore dominante per il comportamento degli elementi tecnici resta la trasmittanza termica stazionaria U.

In estate dove si verificano delle elevate variazioni di temperatura esterna (sole - aria) è necessario che le pareti siano in grado di ridurre e ritardare sensibilmente i picchi di temperatura sulla superficie interna della parete in modo da attenuare il flusso termico ceduto all'interno.

La capacità termica esprime l'entità della quantità di calore che l'elemento tecnico è in grado di trattenere, prima che questo venga poi ritrasmesso verso l'ambiente a temperatura minore.

In generale questa grandezza è principalmente indicativa, in quanto l'inerzia termica di un edificio, in relazione alla qualità igrotermica dei locali interni, è data da un valore più specifico, quale la capacità termica periodica interna.

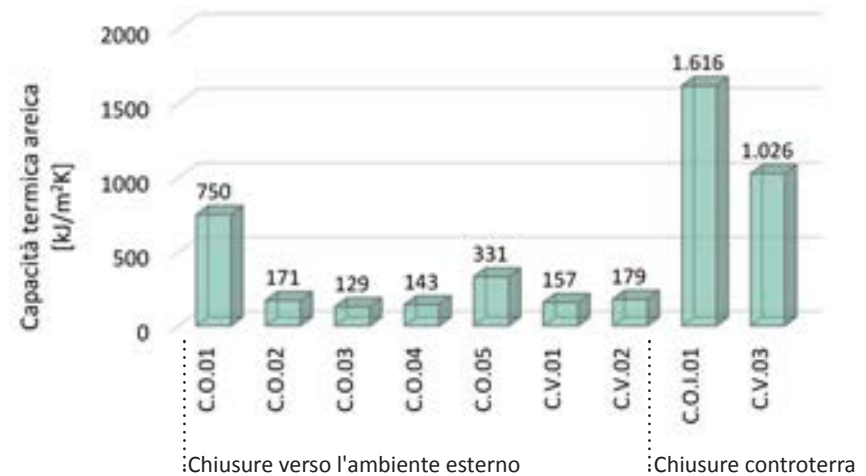


Fig.016 Confronto delle capacità termiche areiche per gli elementi di involucro

Si nota come gli elementi dotati di strati dalla densità elevata, come il terreno delle coperture a giardino o il calcestruzzo delle chiusure controterra, presentino valori elevati di capacità termica; questa situazione è molto differente da quanto si evince nella successiva analisi sulla capacità termica periodica interna, dove la reale inerzia termica dell'edificio è data dal solo contributo degli strati più interni.

Dal punto di vista dell'onda termica estiva in ingresso, è tuttavia importante considerare un contributo di massa anche sul lato esterno dell'involucro, sia per frenare il calore entrante prima ancora che attenuarlo tramite gli strati isolanti, sia per proteggere quest'ultimi dalle elevate temperature superficiali esterne, in quanto alcuni materiali risentono di eccessivi stress termici.

Per questo motivo si è scelto, per tutte le chiusure, di porre strati dalla maggiore densità anche sul lato esterno, così da ottenere contributi di sfasamento sia per l'onda termica esterna che per i carichi interni, dissipati poi nelle ore notturne.



## CAPACITÀ TERMICA PERIODICA INTERNA

È un parametro in funzione della profondità di penetrazione dell'onda termica che descrive la capacità effettiva di accumulo del calore sul lato interno di un componente edilizio e rappresenta lo spessore della massa termica interna che effettivamente contribuisce, in estate, a ridurre le temperature superficiali interne e ad attenuare la temperatura operante.

Questa grandezza è calcolata partendo dall'interfaccia interna fino a quando si raggiunge il valore minimo fra i seguenti:

- metà dello spessore totale della struttura;
- lo spessore di materiali fino al raggiungimento del primo strato di isolante, senza considerare l'intonaco;
- lo spessore massimo di 0,1 m.

In particolare perché il processo sia efficiente è necessario che lo sfasamento sia tale da portare i picchi di temperatura sulla superficie interna durante le ore serali, quando la temperatura esterna dell'aria è più bassa ed è quindi possibile raffreddare attraverso la ventilazione.

Anche la massa termica esposta verso lo spazio interno ha un'efficacia notevole sulla riduzione dei picchi dei carichi di raffrescamento estivo dovuti agli apporti gratuiti favorendo lo smorzamento della temperatura interna grazie alla capacità di accumulo.

Una parete che ha un alto potenziale di accumulo sul lato interno avrà un valore  $C_{ip}$  elevato che risulta ottimale per un migliore livello di comfort igrotermico.

Bassi valori del fattore di attenuazione  $f$ , unitamente ad alti valori della capacità termica areica interna e alti valori dello sfasamento della trasmittanza termica periodica, denotano migliori caratteristiche delle pareti nell'attenuazione degli effetti delle sollecitazioni termiche estive.

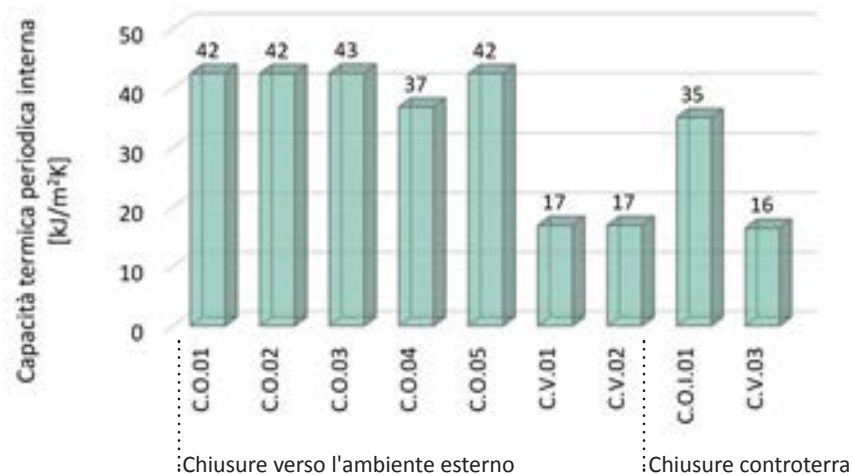


Fig.017 Confronto delle capacità termiche periodiche interne per gli elementi di involucro

Si deve infatti alla capacità termica periodica interna la possibilità di accumulare i carichi interni durante le ore più calde delle giornate estive, permettendo la loro asportazione mediante la ventilazione naturale nelle ore notturne, in cui la temperatura esterna assume valori inferiori.

Pertanto questo fattore è di gran lunga più importante della semplice capacità termica areica e, nella progettazione degli elementi tecnici di involucro, è stata data priorità alla massimizzazione di questa caratteristica.

## 4.3 COMPOSIZIONE DEGLI ELEMENTI TECNICI

### 4.3.1 CHIUSURE VERTICALI

Gli elementi tecnici con funzione di chiusura verticale devono rispettare dei requisiti prestazionali, di seguito elencati:

- stabilità, ossia la capacità di sopportare le sollecitazioni dovute ai carichi di servizio ed ai carichi dovuti al peso proprio, come specificato nel D.M. 14 gennaio 2008 "*norme tecniche per le costruzioni*";
- resistenza al vento, che comporta l'assenza di deformazioni o sfondamenti permanenti sotto uno sforzo pari a  $265 \text{ N/m}^2$ , come da D.M. 14 gennaio 2008 e da CNR DT207 del 2008;
- resistenza agli urti, in particolare è richiesta la resistenza all'urto da parte di un corpo molle di 3 kg (corrispondente a 30 J) e all'urto da parte di un corpo duro di 0,5 kg (corrispondente a 5 J), come riportato nella norma UNI 9269;
- resistenza al fuoco, la norma UNI 7678 richiede un valore di REI 60 per pareti perimetrali non portanti;
- reazione al fuoco, si identificano le classi di reazione al fuoco dei materiali secondo le disposizioni del D.M. del 10 marzo 2005, aggiornato dal D.M. del 25 ottobre 2007;
- sicurezza alle intrusioni, posta ad un minimo che va dai 15 ai 60 minuti;
- permeabilità all'aria, si valuta mediante prova in opera, ponendo in depressione la porzione di parete perimetrale, secondo i criteri della UNI EN 42;
- tenuta all'acqua, si valuta mediante prova in opera, mettendo in depressione la porzione di parete perimetrale mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura che realizzi le condizioni previste dalla UNI EN 86;
- isolamento termico, con un limite di trasmittanza termica posto a  $0,28 \text{ W/m}^2\text{k}$  dal D.M. 11 marzo 2008;
- controllo della condensa, svolto secondo i criteri della norma UNI EN ISO 13788;
- emissione di odori da parte dei materiali, controllo svolto in loco dal personale;
- non emissione di gas, polveri o radiazioni nocive, secondo i limiti imposti

dalla UNI 1600, quantificati in 0,1 ppm per la formaldeide, 0,09 ppm per la soglia olfattiva e 0,66 ppm per la soglia irritante;

- isolamento dai rumori esterni, come richiesto dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997 "*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*", la capacità di limitare il passaggio di rumori aerei, denominata indice di potere fonoisolante apparente  $R'_w$  è posta ad un minimo di 50 dB, per un indice di isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nTw}$  complessivo non inferiore a 40 dB;
- comportamento acustico nei confronti della pioggia e della grandine, è valutato in opera con prove apposite, indipendentemente dalle resistenze acustiche dei materiali che compongono l'elemento tecnico;
- comportamento acustico nei confronti del vento, delle variazioni di temperatura e dell'umidità, valutato in modo analogo al punto precedente, sempre mediante apposite prove in opera;
- planarità, consiste nella misurazione di frecce di scostamento, svergolamento e di planarità locale, come requisito estetico per le finiture esterne;
- assenza di difetti superficiali, valutando la regolarità della geometria della facciata;
- omogeneità di colore, verificando per confronto i campioni di riferimento in aderenza a quanto riportato nella norma UNI 8813;
- benessere tattile, verificato mediante un esame tattile diretto in opera;
- resistenza ai carichi sospesi, sono previsti dalla norma UNI 8326 dei valori di riferimento per la forza orizzontale pari a 100 N e per la forza verticale pari a 600 N;
- controllo dell'inerzia termica, calcolato secondo la UNI EN ISO 13786;
- resistenza allo strappo, che prevede l'assenza di distacchi sotto uno sforzo di trazione pari a  $10 \text{ N/cm}^2$ ;
- messa a terra, se la resistenza della struttura metallica supera i 1000 Ohm allora è richiesta la messa a terra.

## CHIUSURA VERTICALE CON FINITURA ESTERNA IN FIBROCEMENTO C.V.01

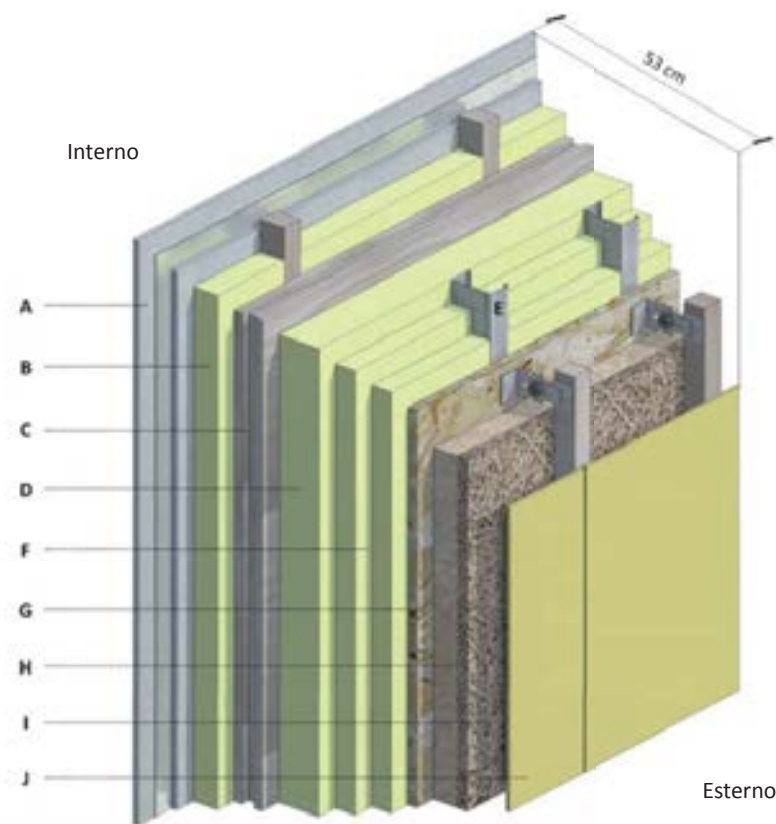


Fig.018 Chiusura verticale con finitura esterna in fibrocemento

L'elemento di chiusura verticale, con finitura esterna in pannelli di fibrocemento, è utilizzato in corrispondenza dei piani a destinazione d'uso residenziale.

La componente strutturale sul lato interno è data dal pannello in legno lamellare, mentre la porzione esterna della parete è sostenuta dalla struttura in profili a "U" e "C" in acciaio zincato.

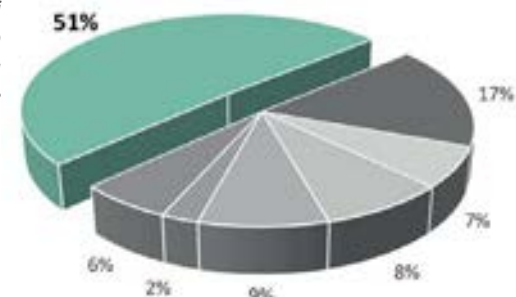
- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Intercapedine per il passaggio di impianti riempita con isolamento termico in lana di pecora, spessore 60 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- C** Elemento prefabbricato di parete in legno lamellare a strati incrociati, dimensioni 2400x3700x72 mm, composto da tre strati di lamelle di spessore 19+34+19 mm e finitura non a vista (NSI),  $\lambda=0,13$  W/mK, densità 471 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1600$  J/kgK, tipo KLH
- D** Strato di isolamento termico in lana di pecora, spessore 100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- E** Struttura secondaria a sostegno della facciata esterna in profili di acciaio zincato, montanti a C 100/50 di spessore 10/10 mm, guide a U 100/40 di spessore 6/10 mm
- F** Doppio strato di isolamento termico in lana di pecora, spessore 50 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- G** Strato di pannelli strutturali in legno OSB, dimensioni 2500x1250x18 mm,  $\lambda=0,13$  W/mK, densità 650 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1700$  J/kgK, tipo EPF
- H** Strato di isolamento termico in pannelli multistrato: lato esterno di spessore 25 mm in lana di legno con  $\lambda=0,065$  W/mK, densità 460 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1810$  J/kgK; lato interno di spessore 60 mm in fibra di legno con  $\lambda=0,038$  W/mK, densità 130 kg/m<sup>3</sup>,  $c=2100$  J/kgK; dimensioni globali 600x1200x85 mm, tipo Celenit F2C
- I** Intercapedine di ventilazione, spessore 60 mm
- J** Strato di finitura esterna in pannelli di fibrocemento, dimensioni 2500x1200x8 mm in colorazione RAL1002 e 3050x1200x8 mm in colorazione RAL070 70 60 e RAL3009; fissaggio mediante viti in acciaio inox, dotate di testa della stessa colorazione dei pannelli, su sottostruttura in montanti in legno passo 400 mm; tipo Rockpanel Colours

Come esposto all'inizio del capitolo, si effettua un confronto tra diversi tipi di isolante termico da utilizzare per il progetto.

Si impone il mantenimento di determinati livelli di prestazioni termiche, valutando le implicazioni sul costo di costruzione e sulla sostenibilità ambientale.

Si riporta l'analisi svolta in relazione all'elemento tecnico che costituisce la maggior parte dell'involucro di progetto, dato che influisce in modo determinante sul risultato globale di tutta la costruzione.

Fig.019 Percentuale di superficie di involucro composta dall'elemento tecnico in esame, in rapporto a quelle delle altre chiusure



Tab.001 Confronto dei prezzi tra le alternative di isolanti termici esaminati

MATERIALE	PREZZO UNITARIO [€]	UNITÀ DI MISURA	QUANTITÀ	PREZZO PER UNITÀ DI SUPERFICIE [€/m <sup>2</sup> ]
Lana di vetro in pannelli, conduttività termica di 0,037 W/mK	1,00	m <sup>2</sup> /cm	10	10,00
Pannelli in fibra di canapa di spessore 50 mm, λ = 0,040 W/mK	8,34	m <sup>2</sup>	2	16,68
Pannelli di canna palustre, spessore 20 mm, λ = 0,056 W/mK	4,00	m <sup>2</sup>	5	20,00
Pannelli in lana di pecora, spessore 50 mm, λ = 0,037 W/mK	12,00	m <sup>2</sup>	2	24,00

Tab.002 Prezzo complessivo dell'elemento tecnico

MATERIALE	PREZZO UNITARIO [€]	UNITÀ DI MISURA	QUANTITÀ	PREZZO PER UNITÀ DI SUPERFICIE [€/m <sup>2</sup> ]
Lastre in cartongesso, spessore 12,5 mm	3,14	m <sup>2</sup>	2	6,28
Isolante termico variabile secondo le alternative proposte, spessore 60 mm	-	cm	6	-
Elemento parete in legno lamellare a 3 strati, spessore totale 72 mm	910,00	m <sup>3</sup>	0,072	65,52
Isolante termico variabile secondo le alternative proposte, spessore 200 mm	-	cm	20	-
Struttura in acciaio zincato 6/10 con profili ad U e profili a C da 100 mm	12,02	m <sup>2</sup> /m	1	12,02
Pannelli di legno OSB/3 di spessore 18 mm	13,35	m <sup>2</sup>	1	13,35
Isolante in fibra di legno ad alta densità, spessore 60 mm	15,70	m <sup>2</sup>	1	15,70
Strato in legno mineralizzato, spessore 25 mm	7,30	m <sup>2</sup>	1	7,30
Lastre in cemento fibrinforzato per finiture esterne	23,50	m <sup>2</sup>	1	23,50
<b>Prezzo totale per l'alternativa di isolamento termico in lana di vetro</b>				<b>169,67</b>
<b>Prezzo totale per l'alternativa di isolamento termico in fibre di canapa</b>				<b>185,37</b>
<b>Prezzo totale per l'alternativa di isolamento termico in canna palustre</b>				<b>195,67</b>
<b>Prezzo totale per l'alternativa di isolamento termico in lana di pecora</b>				<b>205,67</b>



Oltre all'analisi sui prezzi, sono valutate le implicazioni dell'utilizzo di un determinato prodotto in relazione all'energia incorporata nell'edificio.

In particolare sono forniti dai produttori e da letteratura di settore i seguenti dati:

Tab.003 Confronto delle energie incorporate nei materiali isolanti

MATERIALE	ENERGIA INCORPORATA [kWh/kg]
Lana di vetro	6,15
Fibra di canapa	4,17
Canna palustre	0,15
Lana di pecora	0,50

In conclusione, a fronte di un aumento globale dei costi di circa il 20% rispetto alla soluzione in lana di vetro, l'utilizzo della lana di pecora comporta una diminuzione dell'energia incorporata nella costruzione di oltre il 90%.

Una valida alternativa è rappresentata dalla canna palustre, anche se comporta una perdita prestazionale rispetto agli altri isolanti; tuttavia nel progetto si sceglie di utilizzare la lana di pecora, che consente di perseguire standard più elevati di sostenibilità.

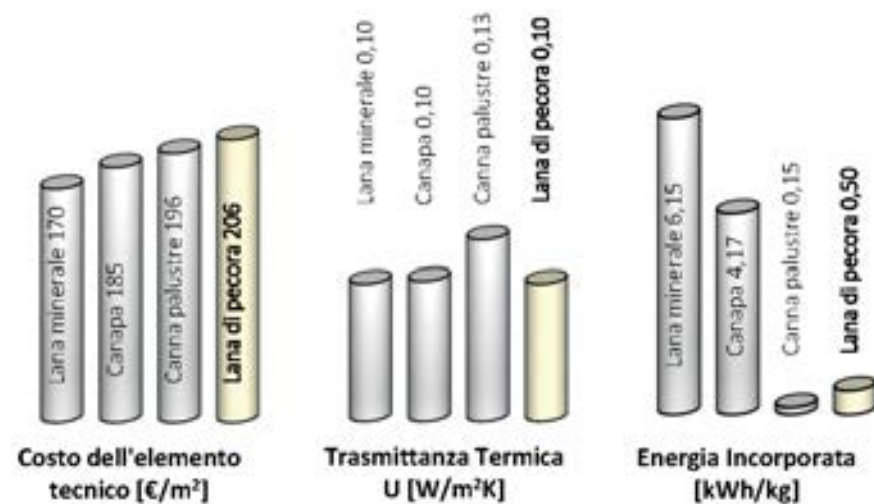


Fig.020 Riepilogo del confronto tra diversi materiali isolanti in relazione alla C.V.01

Infine si riportano i grafici relativi al contributo di massa dei materiali che compongono la chiusura verticale esaminata e la loro incidenza percentuale sul prezzo finale.

Il maggior contributo in massa è dato dall'elemento di parete in legno lamellare, seguito dai pannelli in cartongesso, all'interno, e dal cappotto in fibra di legno, all'esterno; il tutto in concordanza con le considerazioni fatte in precedenza.

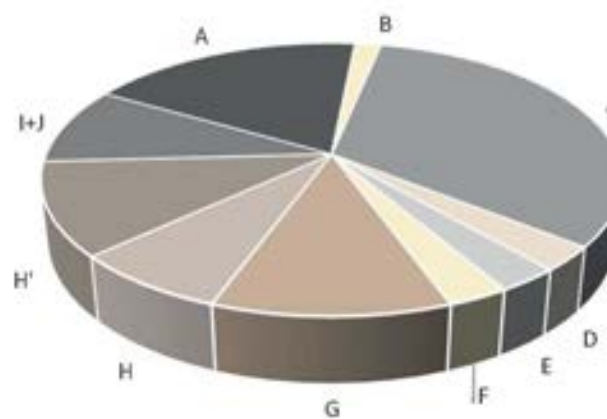


Fig.021 Contributo di massa dei materiali che compongono l'elemento tecnico

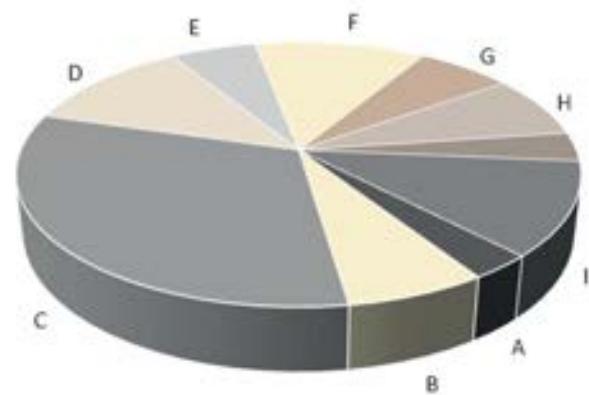


Fig.022 Incidenza sul costo dei materiali che compongono l'elemento tecnico

## CHIUSURA VERTICALE CON FINITURA ESTERNA IN ACCIAIO CORTEN C.V.02

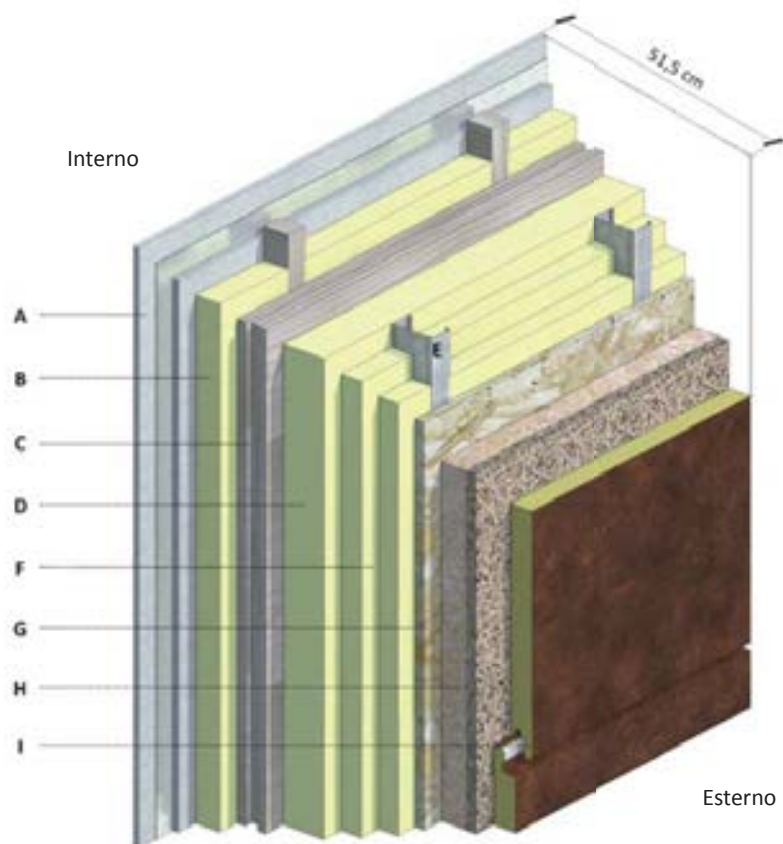
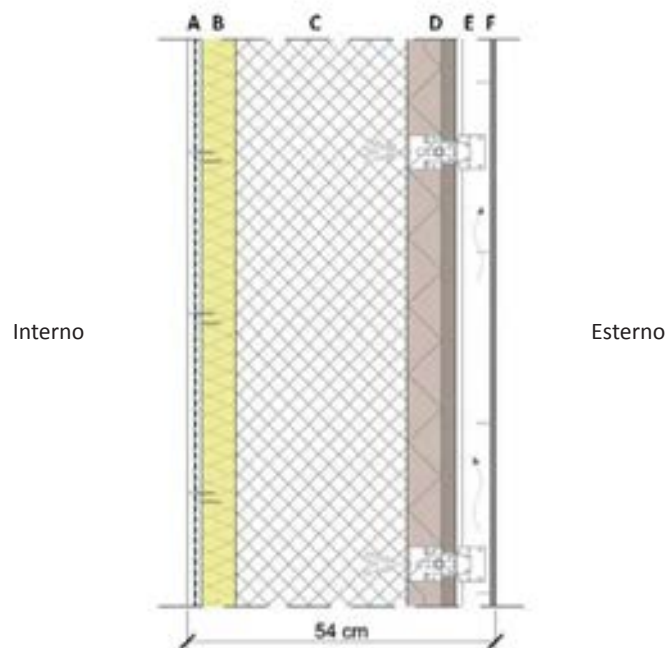


Fig.023 Chiusura verticale con finitura esterna in acciaio CorTen

L'elemento di chiusura verticale, con finitura esterna in acciaio CorTen, è utilizzato in corrispondenza del piano terra di progetto a destinazione d'uso commerciale. La struttura di tale elemento è analoga a quella del caso precedente, con l'eccezione della finitura esterna, che qui è realizzata in pannelli sandwich in acciaio CorTen.

- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Intercapedine per il passaggio di impianti riempita con isolamento termico in lana di pecora, spessore 60 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- C** Elemento prefabbricato di parete in legno lamellare a strati incrociati, dimensioni 2400x3700x72 mm, composto da tre strati di lamelle di spessore 19+34+19 mm e finitura non a vista (NSI),  $\lambda=0,13$  W/mK, densità 471 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1600$  J/kgK, tipo KLH
- D** Strato di isolamento termico in lana di pecora, spessore 100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- E** Struttura secondaria a sostegno della facciata esterna in profili di acciaio zincato, montanti a C 100/50 di spessore 10/10 mm, guide a U 100/40 di spessore 6/10 mm
- F** Doppio strato di isolamento termico in lana di pecora, spessore 50 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- G** Strato di pannelli strutturali in legno OSB, dimensioni 2500x1250x18 mm,  $\lambda=0,13$  W/mK, densità 650 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1700$  J/kgK, tipo EPF
- H** Strato di isolamento termico in pannelli multistrato: lato esterno di spessore 25 mm in lana di legno con  $\lambda=0,065$  W/mK, densità 460 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1810$  J/kgK; lato interno di spessore 60 mm in fibra di legno con  $\lambda=0,038$  W/mK, densità 130 kg/m<sup>3</sup>,  $c=2100$  J/kgK; dimensioni globali 600x1200x85 mm, tipo Celenit F2C
- I** Finitura esterna in pannelli sandwich in acciaio CorTen, passo 950 mm, spessore 50 mm; nucleo in schiuma poliuretanic, complessivamente  $\lambda=0,44$  W/mK, tipo British Robertson FormaWall

### CHIUSURA VERTICALE CON STRUTTURA IN CALCESTRUZZO ARMATO C.V.03



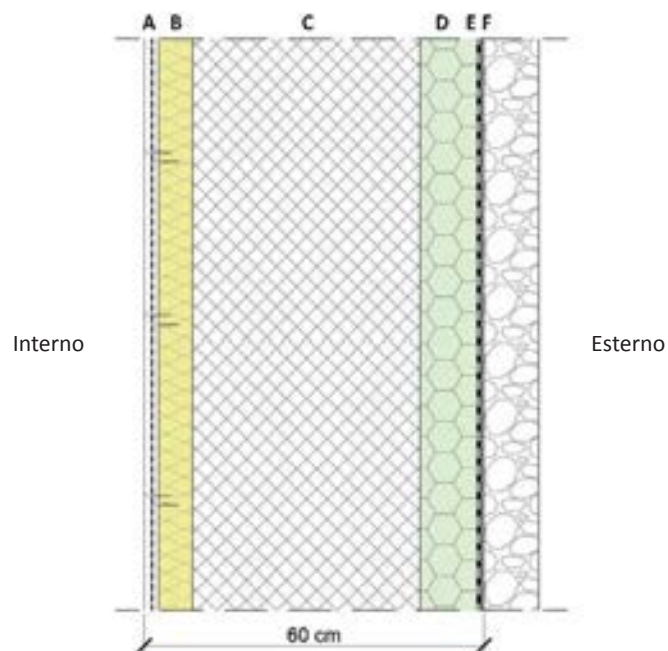
- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Intercapedine per il passaggio di impianti riempita con isolamento termico in lana di pecora, spessore 60 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- C** Setto strutturale in calcestruzzo armato, spessore 300 mm
- D** Strato di isolamento termico in pannelli multistrato: lato esterno di spessore 25 mm in lana di legno con  $\lambda=0,065$  W/mK, densità 460 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1810$  J/kgK; lato interno di spessore 60 mm in fibra di legno con  $\lambda=0,038$  W/mK, densità 130 kg/m<sup>3</sup>,  $c=2100$  J/kgK; dimensioni globali 600x1200x85 mm, tipo Celenit F2C
- E** Intercapedine di ventilazione, spessore 60 mm
- F** Strato di finitura esterna in pannelli di fibrocemento, dimensioni 2500x1200x8 mm in colorazione RAL1002 e 3050x1200x8 mm in colorazione RAL070 70 60 e RAL3009; fissaggio mediante viti in acciaio inox, dotate di testa della stessa colorazione dei pannelli, su sottostruttura in montanti in legno passo 400 mm; tipo Rockpanel Colours

Fig.024 Chiusura verticale con struttura in calcestruzzo armato

In corrispondenza del blocco scale, la struttura interna dell'elemento tecnico caratterizzato dalla finitura in fibrocemento, è sostituita con il setto portante in calcestruzzo armato, dello spessore di 0,30 m.

In ogni caso è mantenuto un valore di trasmittanza termica inferiore agli 0,8 W/m<sup>2</sup>K, previsti dal Decreto del Presidente della Repubblica n.59 del 2 aprile 2009; in particolare la trasmittanza è pari a 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

## CHIUSURA VERTICALE CONTROTERRA C.V.04



- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Intercapedine per il passaggio di impianti riempita con isolamento termico in lana di pecora, spessore 60 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo Lankot
- C** Struttura di parete controterra in calcestruzzo armato, spessore 400 mm
- D** Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni 600x1250x100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 45 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1450$  J/kgK, tipo Styrodur 5000 CS
- F** Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4 mm, tipo Lighterflex HPCP
- G** Membrana bugnata in polietilene ad alta densità (HDPE), dimensioni 20000x4000x8 mm, tipo Fondaline 500

Fig.025 Chiusura verticale controterra

Tale chiusura è realizzata in corrispondenza dei piani interrati e presenta una trasmittanza termica pari a 0,21 W/m<sup>2</sup>K, più alta rispetto al resto dell'involucro in quanto le condizioni al contorno, di contatto con il terreno, risultano più favorevoli rispetto a quelle dell'atmosfera esterna.



#### 4.3.2 CHIUSURE ORIZZONTALI

Gli elementi tecnici con funzione di chiusura orizzontale devono rispettare dei requisiti prestazionali, di seguito elencati:

- stabilità, ovvero la capacità di sopportare le sollecitazioni dovute ai carichi di servizi, al peso proprio e alle sollecitazioni meteorologiche, secondo quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 e dalla Circolare n.617 del 2 febbraio 2009;
- resistenza agli urti, in particolare è richiesta la resistenza all'urto da parte di un corpo molle di 3 kg (corrispondente a 30 J) e all'urto da parte di un corpo duro di 0,5 kg (corrispondente a 5 J), come riportato nella norma UNI 9269;
- resistenza al fuoco, la norma UNI 7678 richiede un valore di REI 120 per solai generici;
- reazione al fuoco, si identificano le classi di reazione al fuoco dei materiali secondo le disposizioni del D.M. del 10 marzo 2005, aggiornato dal D.M. del 25 ottobre 2007;
- resistenza agli agenti aggressivi, classificata secondo la metodologia UPEC per classi di esposizione agli agenti chimici;
- resistenza agli attacchi biologici, in corrispondenza con quanto espresso dalla norma UNI EN 335-1;
- sensibilità all'acqua, definita dai parametri delle membrane attraverso prove in laboratorio come da UNI EN 13707 e da UNI EN ISO 846, per la resistenza ai microrganismi;
- resistenza alla sollecitazione meccanica di radici, valutata con prove di laboratorio in riferimento alla UNI EN 13956;
- capacità drenante, definisce i requisiti di impermeabilità, secondo la DIN 18035, della resistenza al gelo, secondo la UNI EN ISO 1367-1, della resistenza alla compressione, secondo la UNI 13055-1;
- capacità di accumulo idrico, si classifica la porosità totale come da UNI EN 13041 e da PH UNI EN 13037, e la capacità di ritenzione idrica, secondo la UNI 13041;
- capacità agronomica, prevede la classificazione dell'acidità del terreno attraverso prove di laboratorio elencate nella PH UNI EN 13037, oltre al controllo della permeabilità, calcolata tramite la UNI EN 1097-6;
- resistenza ai cicli di gelo/disgelo, verificata tramite specifiche prove tecniche;
- isolamento termico, con un limite di trasmittanza termica posto a 0,24 W/m<sup>2</sup>k, per le coperture, e a 0,27 W/m<sup>2</sup>K per i pavimenti su spazi aperti o locali non riscaldati, dal D.M. 11 marzo 2008;
- isolamento dai rumori esterni, come richiesto dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997 "*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*", la capacità di limitare il passaggio di rumori aerei, denominata indice di potere fonoisolante apparente  $R'_w$  è posta ad un minimo di 50 dB, mentre il limite per il livello di rumore da calpestio  $L'_{nw}$  è di 63 dB;
- controllo della condensa, svolto secondo i criteri della norma UNI EN ISO 13788;

## CHIUSURA ORIZZONTALE PRATICABILE A GIARDINO INTENSIVO C.O.01

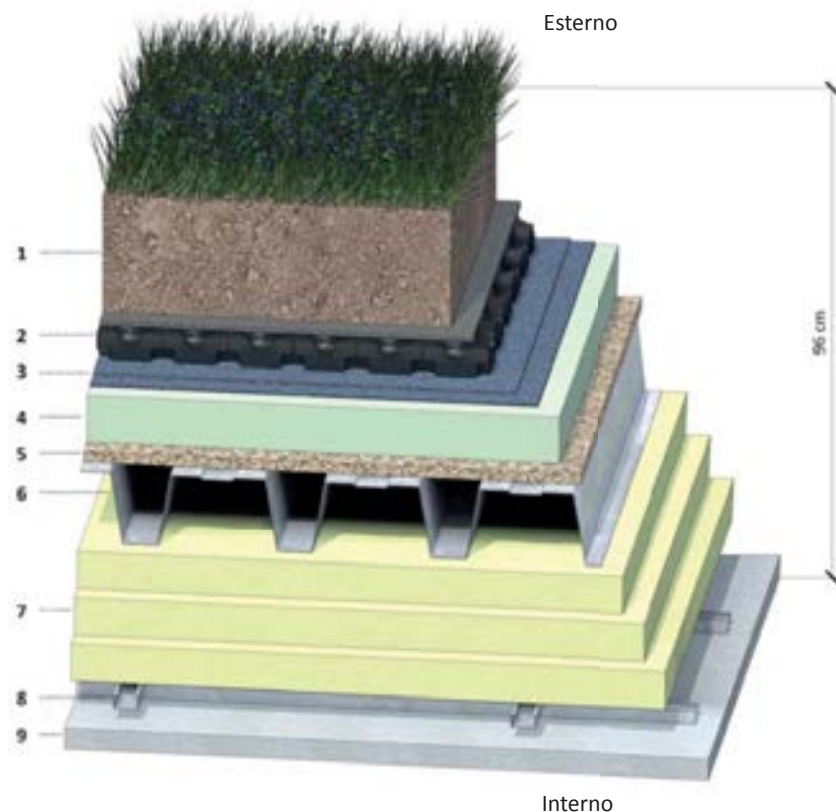


Fig.026 Chiusura orizzontale praticabile a giardino intensivo

La chiusura orizzontale caratterizzata da un sistema a tetto giardino di tipo intensivo, è utilizzata al fine di ricavare spazi verdi in copertura, recuperando una parte di suolo filtrante occupato dalla costruzione stessa.

Questo elemento è dotato di uno spessore di suolo adatto a ospitare arbusti fino a 1,5 m di altezza, permettendo di progettare delle barriere visive vegetali tra le superfici finestrate dell'edificio adiacente e i locali di progetto.

- 1 Strato di terreno vegetale adatto a supportare arbusti fino a 1,5 m di altezza per un inverdimento intensivo, spessore 250 mm, peso saturo 1350 kg/m<sup>3</sup>, tipo Bauder; alla base è interposta una membrana filtrante in tessuto non tessuto in polipropilene, spessore 1 mm, tipo Bauder FV125
- 2 Sistema di supporto e drenaggio in polietilene ad alta densità, capacità di accumulo 17L/m<sup>2</sup> con funzionamento anche a pendenza nulla, dimensioni 1000x2000x60 mm, tipo Bauder DSE60
- 3 Doppia membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4+3 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 4 Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni 600x1250x100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 45 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1450$  J/kgK, tipo Styrodur 5000 CS
- 5 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1880$  J/kgK, tipo BetonWood
- 6 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,5 mm, altezza 150 mm, larghezza elemento 620 mm, tipo SAND150 Sandrini Metalli; cavità riempite con isolante in lana di pecora in prossimità dei ponti termici
- 7 Triplo strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x80 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo LanKot
- 8 Struttura di fissaggio del controsoffitto a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse massimo di 500 mm per orditura secondaria, 1000 mm per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di 750 mm
- 9 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a 56 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 10°C, resa termica pari a 87 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 17,5°C, dimensioni 2000x1200 mm, spessore 45 mm, peso con acqua 14,2 kg/m<sup>2</sup>; tipo Proterceiling GKP2000AA

## CHIUSURA INCLINATA C.O.02

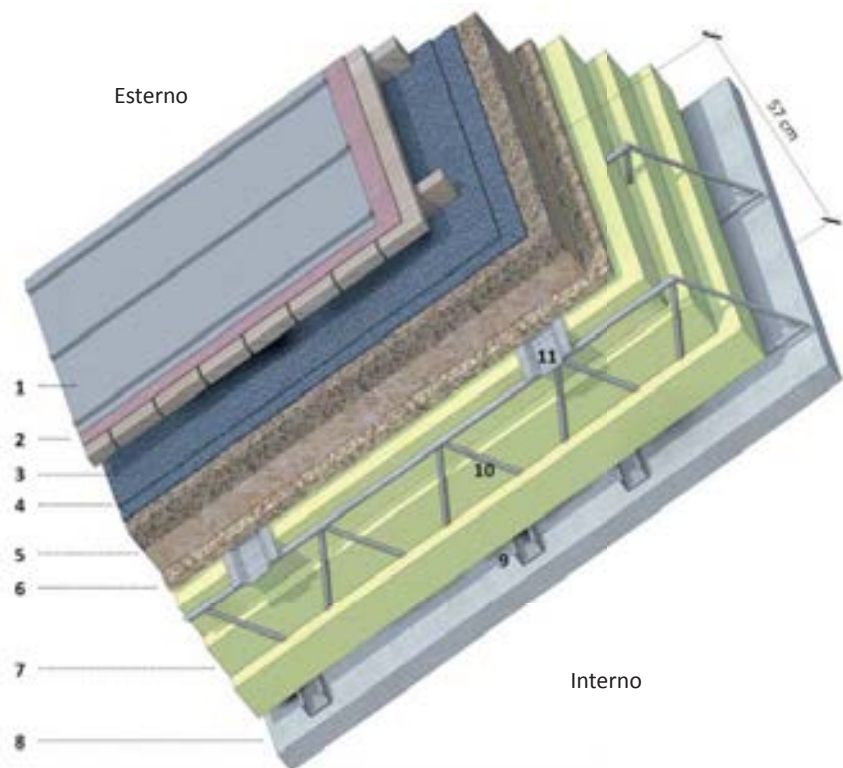


Fig.027 Chiusura inclinata

Questo elemento tecnico presenta una finitura in lamiera graffiata di zinco titanio ed è impiegato per la realizzazione della copertura a falde.

L'isolamento esterno a cappotto è dello stesso tipo di quello delle chiusure verticali, e permette di conseguire una continuità materica per l'involucro.

- 1 Strato di finitura in lamiera graffiata di zinco-titanio spessore 7/10 mm, passo graffiatura 300 mm, tipo Zintek; poggiate su membrana impermeabilizzante e fonoassorbente elastoplastomerica, spessore 4 mm

- 2 Sottostruttura in legno di conifera con assito ortogonale alla direzione delle graffiature della lamiera di zinco titanio, spessore assi 24 mm
- 3 Intercapedine di ventilazione, spessore minimo di 50 mm, realizzata tramite montanti in legno massello a passo 600 mm
- 4 Doppia membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 3+4 mm, larghezza rotoli 1000 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 5 Strato di isolamento termico in pannelli multistrato: lato esterno di spessore 50 mm in lana di legno con  $\lambda=0,065$  W/mK, densità 360 kg/m<sup>3</sup>, c=1810 J/kgK; lato interno di spessore 60 mm in fibra di legno con  $\lambda=0,038$  W/mK, densità 130 kg/m<sup>3</sup>, c=2100 J/kgK; dimensioni globali 600x1200x110 mm, tipo Celenit F2
- 6 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>, c=1880 J/kgK, tipo BetonWood
- 7 Triplo strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x80 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>, c=1720 J/kgK, tipo LanKot
- 8 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a 56 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 10°C, resa termica pari a 87 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 17,5°C, dimensioni 2000x1200 mm, spessore 45 mm, peso con acqua 14,2 kg/m<sup>2</sup>; tipo Proterceiling GKP2000AA; con accoppiato freno al vapore con fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo  $\mu=15000$ , spessore 6/10 mm, larghezza rotoli 1500 mm, tipo Celenit FV/160
- 9 Struttura di fissaggio del controsoffitto in profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 6/10 mm, interasse massimo di 500 mm, i profili sono agganciati ai travetti a traliccio mediante ganci cavalieri filettati posti a passo massimo di 1000 mm
- 10 Travetti a traliccio zincati a caldo, costituiti da profili tondi di tipo B450C suddivisi in due correnti superiori di diametro 16 mm e due correnti inferiori di diametro 14 mm, diagonali in tondi lisci di tipo S355 di diametro 12 mm con passo 345 mm, altezza complessiva dell'elemento 240 mm; tipo Polimeni TR 16/14-240
- 11 Profili continui a omega in acciaio zincato, agganciati ai travetti a traliccio per il fissaggio dell'assito strutturale

## CHIUSURA ORIZZONTALE PRATICABILE C.O.03

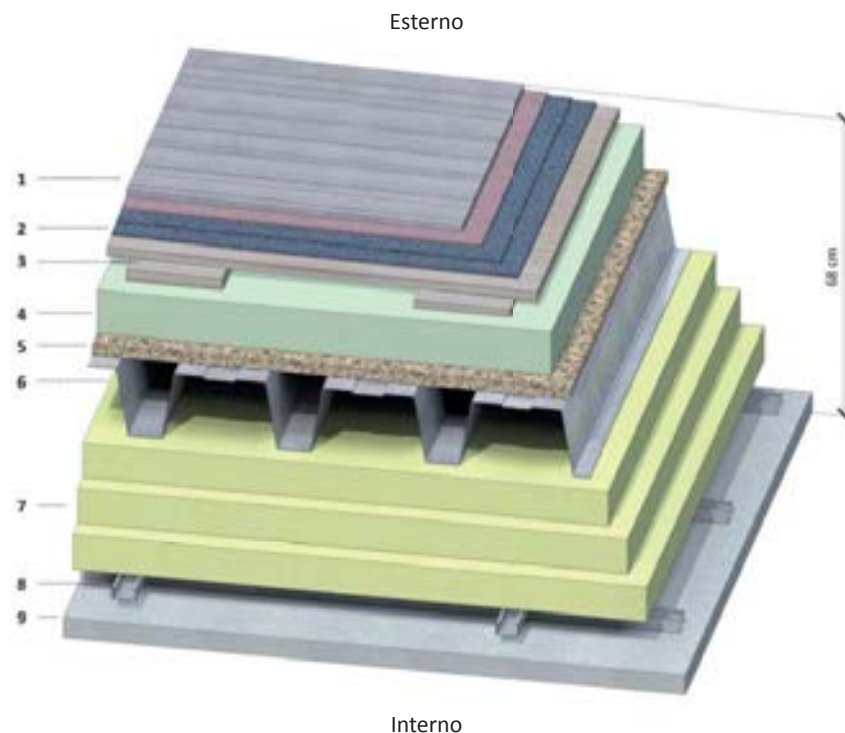


Fig.028 Chiusura orizzontale praticabile

Questo elemento tecnico è posto a copertura nel caso di volumi aggettanti e per la realizzazione di terrazzi.

- 1 Sistema di pavimentazione esterna costituita da piastrelle 150x900 mm, spessore 10 mm, poggianti su membrana desolidarizzante, tipo Novoceram
- 2 Doppia membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4+3 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 3 Strato di pendenza realizzato con assito in legno, spessore minimo 20 mm, pendenza 1,5%
- 4 Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni 600x1250x100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 45 kg/m<sup>3</sup>, c=1450 J/kgK, tipo Styrodur 5000 CS
- 5 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>, c=1880 J/kgK, tipo BetonWood
- 6 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,5 mm, altezza 150 mm, larghezza elemento 620 mm, tipo SAND150 Sandrini Metalli
- 7 Triplo strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x80 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>, c=1720 J/kgK, tipo LanKot
- 8 Struttura di fissaggio del controsoffitto a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse massimo di 500 mm per orditura secondaria, 1000 mm per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di 750 mm
- 9 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a 56 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 10°C, resa termica pari a 87 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 17,5°C, dimensioni 2000x1200 mm, spessore 45 mm, peso con acqua 14,2 kg/m<sup>2</sup>; tipo Proterceiling GKP2000AA



## CHIUSURA ORIZZONTALE SU SPAZI APERTI C.O.04

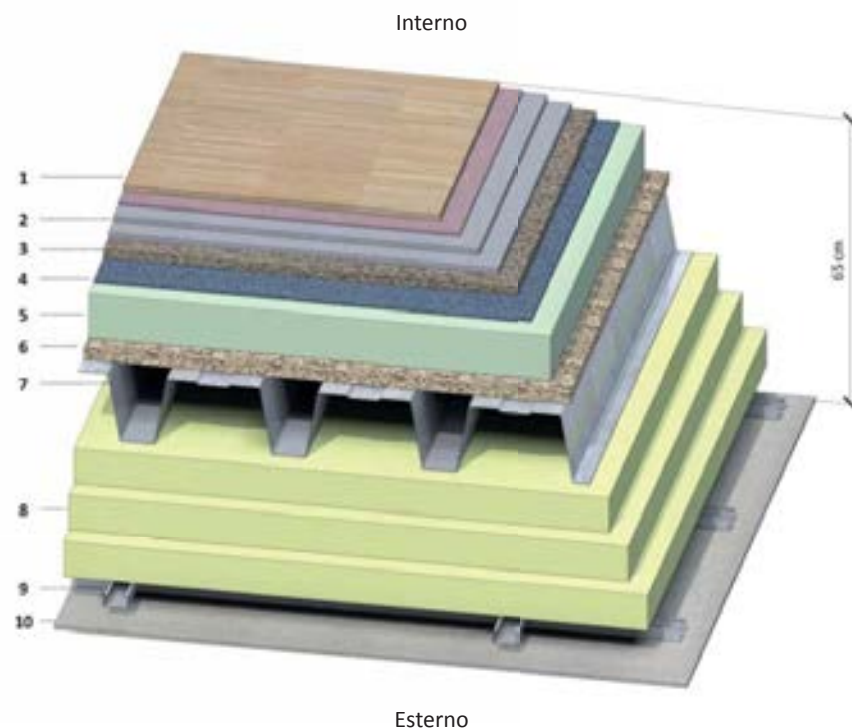


Fig.029 Chiusura orizzontale su spazi aperti

La chiusura orizzontale su spazi aperti è presente nella pavimentazione dei volumi a sbalzo e del primo piano, in corrispondenza del passaggio aperto tra via Palermo e la corte interna, presente a livello stradale.

- 1 Strato di pavimentazione in parquet industriale prefinito, formato doghe 1000x200 mm, spessore totale 18 mm, tipo WOODCO Monolith
- 2 Doppio strato di pavilastre, spessore totale 25 mm, tipo Knauf
- 3 Strato di sottofondo livellante in argilla espansa, spessore 20 mm, granulometria 1-4 mm, tipo Pavileca
- 4 Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 5 Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni 600x1250x100 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 45 kg/m<sup>3</sup>, c=1450 J/kgK, tipo Styrodur 5000 CS
- 6 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>, c=1880 J/kgK, tipo BetonWood
- 7 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,5 mm, altezza 150 mm, larghezza elemento 620 mm, tipo SAND150 Sandrini Metalli
- 8 Triplo strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x80 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>, c=1720 J/kgK, tipo LanKot
- 9 Struttura di fissaggio della finitura esterna a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse massimo di 500 mm per orditura secondaria, 1000 mm per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di 750 mm
- 10 Strato di finitura esterna in pannelli di fibrocemento, dimensioni 2500x1200x8 mm in colorazione RAL1002 e 3050x1200x8 mm in colorazione RAL070 70 60 e RAL3009; fissaggio mediante viti in acciaio inox, dotate di testa della stessa colorazione dei pannelli; tipo Rockpanel Colours

## CHIUSURA ORIZZONTALE PRATICABILE A GIARDINO ESTENSIVO C.O.05



Fig.030 Chiusura orizzontale praticabile a giardino estensivo

Questo elemento è utilizzato sia per la copertura non praticabile della funzione pubblica al piano terra, che per il terrazzo giardino, di estensione limitata, presente al terzo piano del progetto.

- 1 Strato di terreno vegetale per un inverdimento estensivo, spessore 100 mm, peso saturo  $1100 \text{ kg/m}^3$ , tipo Bauder; alla base è interposta una membrana filtrante in tessuto non tessuto in polipropilene, spessore 1 mm, tipo Bauder FV125
- 2 Sistema di supporto e drenaggio in polietilene ad alta densità, capacità di accumulo  $17\text{L/m}^2$  con funzionamento anche a pendenza nulla, dimensioni  $1000 \times 2000 \times 60 \text{ mm}$ , tipo Bauder DSE60
- 3 Doppia membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4+3 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 4 Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni  $600 \times 1250 \times 100 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$ , densità  $45 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1450 \text{ J/kgK}$ , tipo Styrodur 5000 CS
- 5 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni  $2600 \times 1250 \times 24 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,26 \text{ W/mK}$ , densità  $1350 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1880 \text{ J/kgK}$ , tipo BetonWood
- 6 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,5 mm, altezza 150 mm, larghezza elemento 620 mm, tipo SAND150 Sandrini Metalli; cavità riempite con isolante in lana di pecora in prossimità dei ponti termici
- 7 Triplo strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni  $600 \times 1200 \times 80 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$ , densità  $30 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1720 \text{ J/kgK}$ , tipo LanKot
- 8 Struttura di fissaggio del controsoffitto a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse massimo di 500 mm per orditura secondaria, 1000 mm per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di 750 mm
- 9 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a  $56 \text{ W/m}^2$  con  $\Delta T$  di  $10^\circ\text{C}$ , resa termica pari a  $87 \text{ W/m}^2$  con  $\Delta T$  di  $17,5^\circ\text{C}$ , dimensioni  $2000 \times 1200 \text{ mm}$ , spessore 45 mm, peso con acqua  $14,2 \text{ kg/m}^2$ ; tipo Proterceiling GKP2000AA

## CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE CONTROTERRA C.O.I.01

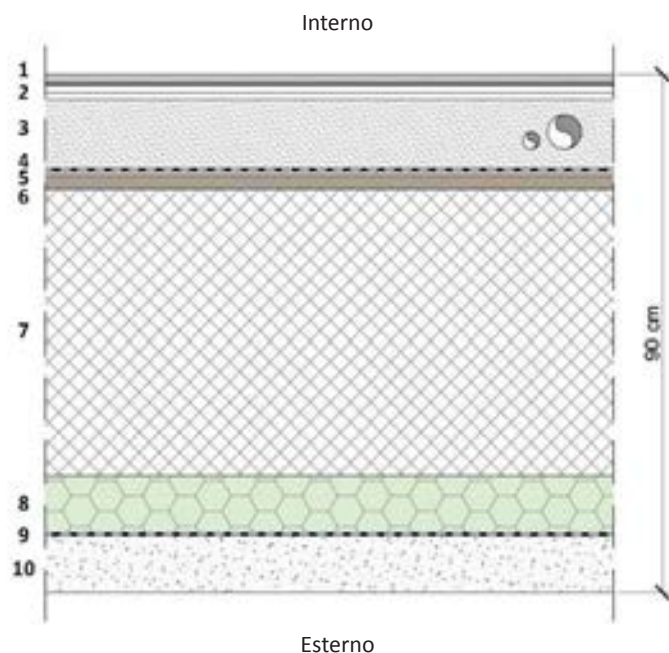


Fig.031 Chiusura orizzontale inferiore controterra

Tale chiusura è realizzata in corrispondenza dei piani interrati e presenta una trasmittanza termica pari a  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ , più alta rispetto al resto dell'involucro in quanto le condizioni al contorno, di contatto con il terreno, risultano più favorevoli rispetto a quelle dell'atmosfera esterna.

La funzione principale è quella di tenuta all'acqua, specialmente in un contesto come quello milanese, in cui vi è presenza di falda acquifera a limitata profondità.

- 1 Strato di pavimentazione in parquet industriale prefinito, formato doghe  $1000 \times 200 \text{ mm}$ , spessore totale  $18 \text{ mm}$ , tipo WOODCO Monolith
- 2 Doppio strato di pavilastre, spessore totale  $25 \text{ mm}$ , tipo Knauf
- 3 Strato di sottofondo livellante in argilla espansa, spessore  $120 \text{ mm}$  con possibilità di passaggio di impianti, granulometria  $1-4 \text{ mm}$ , tipo Pavileca
- 4 Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore  $4 \text{ mm}$ , tipo Lighterflex HPCP
- 5 Strato di isolante acustico in gomma riciclata, spessore  $8 \text{ mm}$ , miglioramento del livello di rumore di calpestio di circa  $29 \text{ dB}$ , tipo Damproll
- 6 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni  $2600 \times 1250 \times 24 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,26 \text{ W/mK}$ , densità  $1350 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1880 \text{ J/kgK}$ , tipo BetonWood
- 7 Piastra in calcestruzzo armato spessore  $500 \text{ mm}$
- 8 Strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS), dimensioni  $600 \times 1250 \times 100 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$ , densità  $45 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1450 \text{ J/kgK}$ , tipo Styrodur 5000 CS
- 9 Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore  $4 \text{ mm}$ , tipo Lighterflex HPCP
- 10 Strato di sottofondo in magrone, spessore  $100 \text{ mm}$

### 4.3.3 PARTIZIONI INTERNE VERTICALI

Le partizioni verticali sono utilizzate per la ripartizione interna delle piante; in particolare è importante la caratteristica della flessibilità spaziale: progettando elementi secondo la tecnologia a struttura e rivestimento, si rende possibile la disassemblabilità delle partizioni stesse, garantendo l'adattabilità degli spazi interni.

I divisori interni devono ottemperare al controllo di diverse sollecitazioni:

- acustiche, isolando locali separati ed evitando fenomeni di riverbero;
- ottiche, dal punto di vista della visibilità e della riflessione luminosa;
- termiche, garantendo l'isolamento tra le unità abitative e l'inerzia termica;
- igrotermiche, evitando fenomeni di condensa;
- idrodinamiche, garantendo la tenuta all'acqua ed evitando la capillarità;
- gassose, dal punto di vista del contenimento degli odori;
- fuoco, rispondendo ai requisiti di resistenza e reazione alla combustione.

In particolare, per il progetto si sono scelte partizioni interne in cartongesso, caratterizzate dall'ottima flessibilità, nonché per le prestazioni termiche ed acustiche, grazie al loro comportamento smorzante massa - molla - massa, al contrario dei tradizionali tamponamenti in laterizio che ostacolano l'onda sonora con la sola componente della massa, rimanendo permeabili a determinate frequenze critiche di coincidenza e di riverbero.

Una problematica per questo tipo di partizioni deriva dalla necessità di elementi di rinforzo in presenza di elementi di arredo particolari, come i sanitari.

Dal punto di vista del comfort degli ambienti interni, un aspetto fondamentale è quello dell'acustica; per questo è necessaria una verifica del livello delle prestazioni acustiche offerte dall'edificio, specialmente negli ambienti destinati alla permanenza di persone.

La normativa italiana, come da D.P.C.M. del 5 dicembre 1997, prescrive limiti di fonoisolamento e di livelli di rumore da calpestio tra unità abitative: 50 dB di potere fonoisolante delle partizioni verticali e 63 dB come livello di calpestio.

I requisiti acustici passivi possono essere calcolati analiticamente utilizzando le indicazioni riportate nelle norme tecniche UNI EN 12354.

La sensazione uditiva non è legata ad una variazione lineare della pressione sonora, ma ad una relazione di tipo logaritmico; per tale motivo le grandezze acustiche sono espresse in deciBel (dB), ovvero un'unità di relazione logaritmica. Il livello di pressione sonora risulta  $L_p = 20 \log_{10} (P/P_0)$  dB, dove la pressione di riferimento  $P_0 = 20 * 10^{-6}$  Pa

Le modalità di trasmissione dell'energia sonora si distinguono in relazione a due distinti meccanismi di propagazione:

- per via aerea, nel caso in cui le onde sonore, senza incontrare ostacoli solidi, si trasmettono dalla sorgente all'ascoltatore;
- per via strutturale, nel caso in cui le onde sonore che raggiungono l'ascoltatore, si trasmettono attraverso le strutture solide dell'edificio tramite vibrazioni elastiche.

#### ISOLAMENTO ACUSTICO DELLA PARTIZIONE VERTICALE INTERNA

L'isolamento acustico (D) è definito come la differenza tra i valori medi dei livelli di pressione sonora misurati alla sorgente ( $L_1$ ) e nell'ambiente di riferimento ( $L_2$ ), ovvero  $D = L_1 - L_2$  [dB]

La quantità di energia che viene assorbita e trasmessa dalla partizione dipende dalle caratteristiche fisiche dei materiali impiegati; i parametri che descrivono tale fenomeno sono:

- coefficiente di assorbimento acustico  $\alpha$ , esprime il valore numerico della frazione di energia assorbita;
- coefficiente di trasmissione acustica  $\tau$ , esprime la percentuale di energia che attraversa l'elemento divisorio.

In particolare il coefficiente di trasmissione è funzione dell'angolo di incidenza dell'onda sonora sulla partizione.



Pertanto si definisce il potere fonoisolante  $R$ , in funzione dell'angolo di incidenza  $\theta$ :  $R(\theta) = 10 \log (1/\tau(\theta))$  [dB]

Nel calcolo del potere fonoisolante degli elementi tecnici si deve tener conto delle reali condizioni di utilizzo, per questo si adotta il potere fonoisolante apparente  $R' = -10 \log \tau'$ , dove  $\tau'$  tiene conto dei fattori di trasmissione sia diretta che indiretta.

Quindi l'isolamento acustico diventa  $D = R' - 10 \log (S/A)$ , dove  $S$  è la superficie della parete divisoria e  $A$  è l'area equivalente di assorbimento acustico del locale disturbato.

Mentre per le pareti monostrato vale la legge di massa nel calcolo del potere fonoisolante, con le limitazioni viste in precedenza, per le partizioni a più strati il calcolo dell'isolamento acustico che ne deriva risulta estremamente complicato e dalla ridotta affidabilità; per questo si fa riferimento a tipologie costruttive già sperimentate.

Di seguito si riportano le partizioni verticali interne di progetto: definite nel caso di separazione interna all'unità abitativa, nel caso di passaggi impiantistici e infine nel caso di partizioni tra diverse abitazioni, caratterizzato da requisiti di isolamento termico e acustico superiori.

Per ogni elemento è stato verificato che l'indice di potere fonoisolante apparente fosse sempre superiore ai 50 dB; in particolare per le partizioni tra unità abitative, tale indice supera anche il valore dei 60 dB.

#### PARTIZIONE VERTICALE INTERNA P.V.I.01

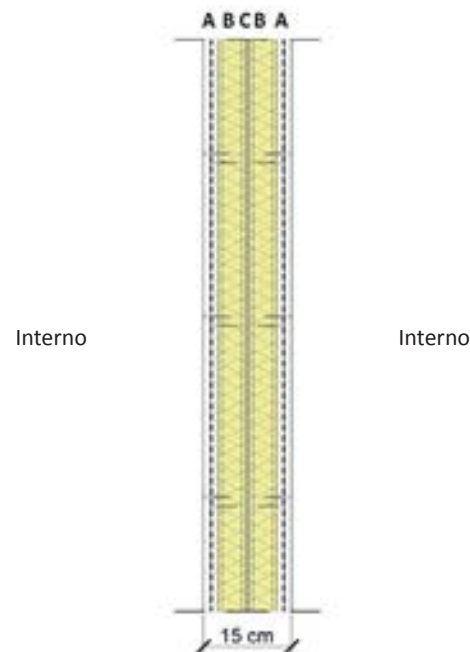


Fig.032 Partizione verticale interna

- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x50 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo LanKot; strutture secondarie in profili di acciaio zincato, montanti a C 50/50 di spessore 0,8 mm, guide a U 50/40 di spessore 0,6 mm
- C** Strato di intercapedine d'aria non ventilata di spessore 5 mm, resistenza termica pari a 0,11 m<sup>2</sup>K/W per flusso termico orizzontale

PARTIZIONE VERTICALE INTERNA CON INTERCAPEDINE IMPIANTISTICA P.V.I.02

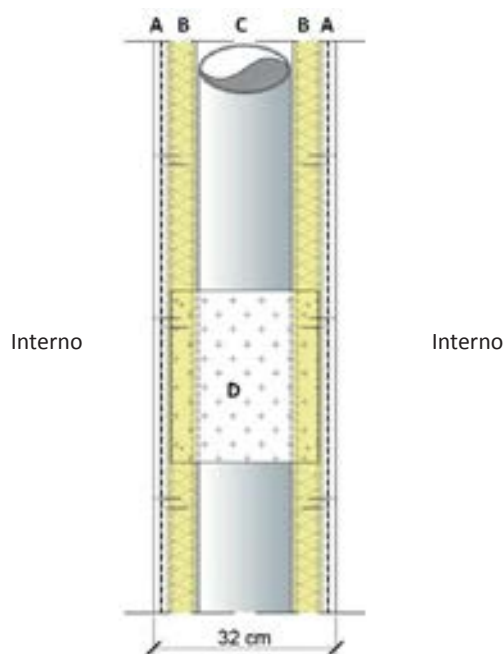


Fig.033 Partizione verticale interna con intercapedine impiantistica

- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x50 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo LanKot; strutture secondarie in profili di acciaio zincato, montanti a C 50/50 di spessore 0,8 mm, guide a U 50/40 di spessore 0,6 mm
- C** Strato di intercapedine d'aria per il passaggio degli impianti, spessore 170 mm
- D** Lastra trasversale di rinforzo in cartongesso, altezza 300 mm, tipo Knauf GKB

PARTIZIONE VERTICALE INTERNA TRA UNITÀ ABITATIVE P.V.I.03

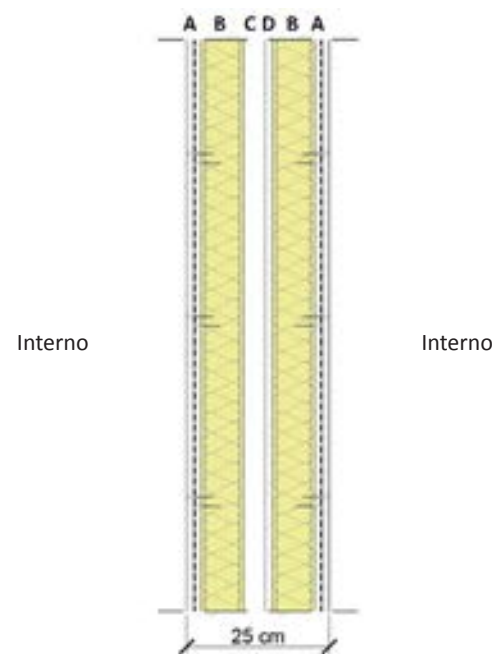


Fig.034 Partizione verticale interna tra unità abitative

- A** Doppio strato di pannelli in cartongesso con interposta una membrana di tenuta al vapore in alluminio, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB
- B** Strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni 600x1200x70 mm,  $\lambda=0,037$  W/mK, densità 30 kg/m<sup>3</sup>,  $c=1720$  J/kgK, tipo LanKot; strutture secondarie in profili di acciaio zincato, montanti a C 75/50 di spessore 0,8 mm, guide a U 75/40 di spessore 0,6 mm
- C** Strato di intercapedine d'aria non ventilata di spessore 37,5 mm, resistenza termica pari a 0,11 m<sup>2</sup>K/W per flusso termico orizzontale
- D** Strato singolo di pannelli in cartongesso, dimensioni 3000x1200x12,5 mm,  $\lambda=0,20$  W/mK, densità 760 kg/m<sup>3</sup>, tipo Knauf GKB

#### 4.3.4 PARTIZIONI INTERNE ORIZZONTALI

##### PARTIZIONE ORIZZONTALE INTERNA TRA UNITÀ ABITATIVE P.O.I.01

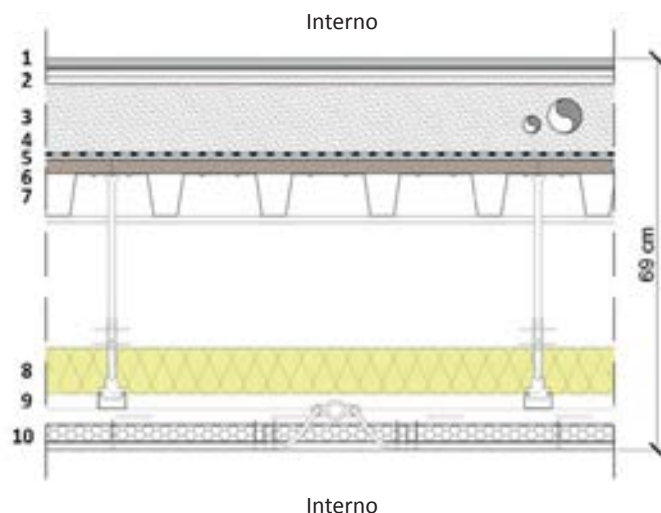


Fig.035 Partizione orizzontale interna tra unità abitative

Le partizioni orizzontali presentano un valore di trasmittanza termica pari a  $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ , inferiore agli  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  richiesti dal D.P.R. n.59 del 2 aprile 2009.

All'interno dell'elemento tecnico è presente un'intercapedine a controsoffitto, ispezionabile, per il passaggio degli impianti; tutta la struttura è realizzata a secco, il che ne consente la modificabilità e la riadattabilità senza necessità di costose demolizioni, permettendo il recupero dei materiali edili impiegati.

In particolare, il sottofondo di argilla espansa consente la facile accessibilità degli impianti per riparazioni o sostituzioni.

- 1 Strato di pavimentazione in parquet industriale prefinito, formato doghe  $1000 \times 200 \text{ mm}$ , spessore totale  $18 \text{ mm}$ , tipo WOODCO Monolith
- 2 Doppio strato di pavilastre, spessore totale  $25 \text{ mm}$ , tipo Knauf
- 3 Strato di sottofondo livellante in argilla espansa, spessore  $120 \text{ mm}$  con possibilità di passaggio di impianti, granulometria  $1-4 \text{ mm}$ , tipo Pavileca
- 4 Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore  $4 \text{ mm}$ , tipo Lighterflex HPCP
- 5 Strato di isolante acustico in gomma riciclata, spessore  $8 \text{ mm}$ , miglioramento del livello di rumore di calpestio di circa  $29 \text{ dB}$ , tipo Damproll
- 6 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni  $2600 \times 1250 \times 24 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,26 \text{ W/mK}$ , densità  $1350 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1880 \text{ J/kgK}$ , tipo BetonWood
- 7 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore  $1,2 \text{ mm}$ , altezza  $75 \text{ mm}$ , larghezza elemento  $570 \text{ mm}$ , tipo Expan EPS75/570
- 8 Strato di isolante morbido in lana di pecora, dimensioni  $600 \times 1200 \times 80 \text{ mm}$ ,  $\lambda=0,037 \text{ W/mK}$ , densità  $30 \text{ kg/m}^3$ ,  $c=1720 \text{ J/kgK}$ , tipo LanKot
- 9 Struttura di fissaggio del controsoffitto a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato  $50/27$  di spessore  $0,6 \text{ mm}$ , interasse massimo di  $500 \text{ mm}$  per orditura secondaria,  $1000 \text{ mm}$  per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di  $750 \text{ mm}$
- 10 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a  $56 \text{ W/m}^2$  con  $\Delta T$  di  $10^\circ\text{C}$ , resa termica pari a  $87 \text{ W/m}^2$  con  $\Delta T$  di  $17,5^\circ\text{C}$ , dimensioni  $2000 \times 1200 \text{ mm}$ , spessore  $45 \text{ mm}$ , peso con acqua  $14,2 \text{ kg/m}^2$ ; tipo Proterceiling GKP2000AA

PARTIZIONE ORIZZONTALE INTERNA PER IL PIANO SOPPALCATO P.O.I.02

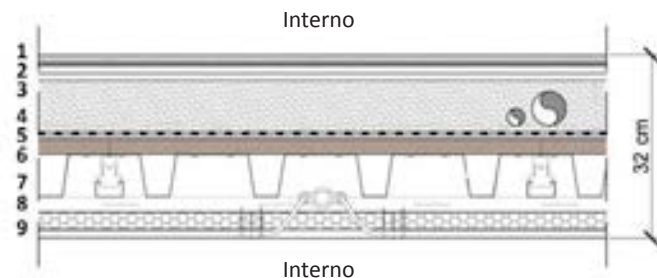


Fig.036 Partizione orizzontale interna per il piano soppalcato

- 1 Strato di pavimentazione in parquet industriale prefinito, formato doghe 1000x200 mm, spessore totale 18 mm, tipo WOODCO Monolith
- 2 Doppio strato di pavilastre, spessore totale 25 mm, tipo Knauf
- 3 Strato di sottofondo livellante in argilla espansa, spessore 90 mm con possibilità di passaggio di impianti, granulometria 1-4 mm, tipo Pavileca
- 4 Membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 5 Strato di isolante acustico in gomma riciclata, spessore 8 mm, miglioramento del livello di rumore di calpestio di circa 29 dB, tipo Damproll
- 6 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>, c=1880 J/kgK, tipo BetonWood
- 7 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,2 mm, altezza 75 mm, larghezza elemento 570 mm, tipo Expan EPS75/570
- 8 Struttura di fissaggio del controsoffitto a doppia orditura di profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse massimo di 500 mm per orditura secondaria, 1000 mm per orditura primaria; punti di sospensione a distanza massima di 750 mm
- 9 Sistema di controsoffitto radiante, resa frigorifera pari a 56 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 10°C, resa termica pari a 87 W/m<sup>2</sup> con  $\Delta T$  di 17,5°C, dimensioni 2000x1200 mm, spessore 45 mm, peso con acqua 14,2 kg/m<sup>2</sup>; tipo Proterceiling GKP2000AA

PARTIZIONE ORIZZONTALE ESTERNA P.O.E.01

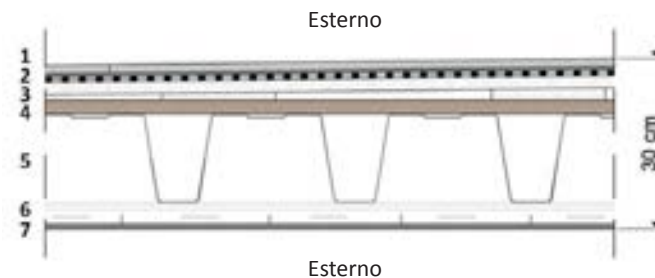
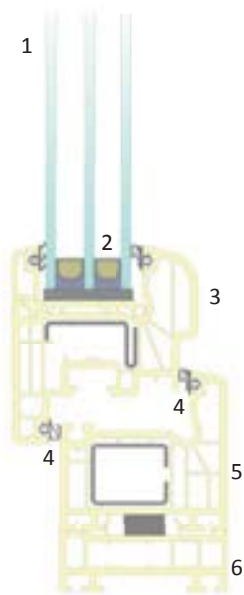


Fig.037 Partizione orizzontale esterna

- 1 Sistema di pavimentazione esterna costituita da piastrelle 150x900 mm, spessore 10 mm, poggianti su membrana desolidarizzante, tipo Novoceram
- 2 Doppia membrana impermeabilizzante elastoplastomerica, spessore 4+3 mm, tipo Lighterflex HPCP
- 3 Strato di pendenza realizzato con assito in legno, spessore minimo 20 mm, pendenza 1,5%
- 4 Strato di pannelli strutturali in legno mineralizzato, dimensioni 2600x1250x24 mm,  $\lambda=0,26$  W/mK, densità 1350 kg/m<sup>3</sup>, c=1880 J/kgK, tipo BetonWood
- 5 Lamiera grecata non collaborante in acciaio, spessore 1,5 mm, altezza 150 mm, larghezza elemento 620 mm, tipo SAND150 Sandrini Metalli
- 6 Struttura di fissaggio delle lastre in fibrocemento in profili a C di acciaio zincato 50/27 di spessore 0,6 mm, interasse di 400 mm
- 7 Strato di finitura esterna in pannelli di fibrocemento, dimensioni 2500x1200x8 mm in colorazione RAL1002 e 3050x1200x8 mm in colorazione RAL070 70 60 e RAL3009; fissaggio mediante viti in acciaio inox, dotate di testa della stessa colorazione dei pannelli, su sottostruttura in montanti in legno passo 400 mm; tipo Rockpanel Colours



### 4.3.5 INFISSI ESTERNI



- 1 Triplo vetro con camere riempite in gas Argon
- 2 Distanziali ad alte prestazioni in fibra di vetro
- 3 Telaio mobile a 6 camere in PVC-alluminio, spessore 90 mm
- 4 Guarnizioni di tenuta all'aria e di battuta
- 5 Telaio fisso a 6 camere in PVC-alluminio, spessore 90 mm
- 6 Controtelaio

Fig.038 Tipologia infisso di progetto

Gli elementi tecnici con funzione di infissi esterni devono rispettare i requisiti prestazionali di seguito elencati:

- permeabilità all'aria, testata secondo EN 12207 e dal valore minimo imposto dalla UNI 11173;
- resistenza al vento, classificazione e metodologie di prova specificate nelle norme UNI EN 12210 e UNI EN 12211, la classe di appartenenza è determinata in base al valore della freccia frontale, il cui minimo è imposto dalla UNI 11173;
- tenuta all'acqua, testata secondo EN 12208, e dal valore minimo riportato nella UNI 11173;
- trasmittanza termica, calcolata secondo EN ISO 10077-1 del 2006 e che, in base al D.M. 11 marzo 2008, deve essere inferiore a 1,6 W/m<sup>2</sup>K;
- potere fonoisolante, calcolato secondo EN ISO 717-1 e posto superiore a 50 dB dal D.P.C.M. del 5 dicembre 1997;
- resistenza al fuoco, stabilita dalla UNI EN 1363-1,2;
- reazione al fuoco, classe stabilita dalle UNI EN ISO 1182 e UNI 9174;
- resistenza all'apertura e chiusura per 10.000 cicli, verifica stabilita secondo le prescrizioni della UNI EN 107 e della UNI 9158;
- resistenza agli urti, da verificare in opera secondo quanto riportato nelle UNI EN 949, UNI EN 950 e UNI EN 13049;
- resistenza al carico verticale, determinata come da UNI EN 14608 e classificata secondo UNI EN 13115;
- resistenza alla torsione, analoga al punto precedente secondo le norme UNI EN 14609 e UNI EN 13115;
- resistenza al proiettile, stabilita dalla UNI EN 1522;
- resistenza all'esplosione, secondo metodi di prova riscontrati nella UNI EN 13123;
- controllo della trasmissione solare e luminosa, secondo EN 410.

Per il progetto sono stati scelti degli infissi in PVC - alluminio dalle elevate prestazioni termiche, dotati di triplo vetro basso emissivo, per una  $U_w = 0,82$  W/m<sup>2</sup>K, un fattore solare  $g = 50\%$  e una trasmissione luminosa  $t = 72\%$ .

Questo consente di massimizzare l'isolamento termico dell'involucro, mantenendo elevati i guadagni solari nella stagione invernale; d'altro canto nella stagione estiva è necessaria una buona progettazione delle schermature solari per evitare un eccessivo surriscaldamento dei locali interni.

Inoltre in copertura sono state utilizzate finestre per tetti dalle analoghe prestazioni: trasmittanza termica dell'infisso  $U_w = 1$  W/m<sup>2</sup>K, fattore solare  $g = 50\%$  e trasmissione luminosa  $t = 69\%$ ; il rivestimento esterno è in zinco titanio che, come l'alluminio per gli infissi in PVC, protegge il serramento dall'aggressività dell'atmosfera inquinata, tipica di una città come Milano.

#### 4.4 VERIFICHE DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI

Secondo le normative vigenti è necessario svolgere una verifica dei ponti termici e, nel caso si ottenga un valore di trasmittanza termica puntualmente maggiore di più del 15% del valore medio degli elementi tecnici oggetto di analisi, si devono opportunamente considerare nel calcolo delle dispersioni termiche dell'edificio.

La prevenzione dei ponti termici ha anche la duplice valenza di evitare fenomeni di degrado dei materiali dovuto alla formazione di condensa e di muffe.

Esistono due tipologie di ponte termico:

- ponte termico di forma, presente all'incontro tra due pareti esterne;
- ponte termico di struttura, presente in un punto di discontinuità materica o prestazionale.

Al fine di valutare con precisione il flusso termico relativo ai particolari costruttivi progettati, è stato utilizzato un software di analisi agli elementi finiti, THERM, di cui si riportano le restituzioni grafiche relative all'andamento della temperatura per il punto di discontinuità tra il serramento e la chiusura verticale, per la valutazione dell'influenza delle strutture metalliche all'interno della chiusura verticale e per il punto di discontinuità tra la finestra per tetti e la chiusura inclinata.

In particolare, per quanto riguarda la chiusura verticale, si è riscontrato un aumento della trasmittanza termica, in corrispondenza dei profili metallici, di circa il 13%: dato che il valore rientra nei limiti del 15% è possibile considerare per la parete in esame un valore di trasmittanza termica uniforme.

#### DISCONTINUITÀ TRA INFISSO ESTERNO E CHIUSURA VERTICALE

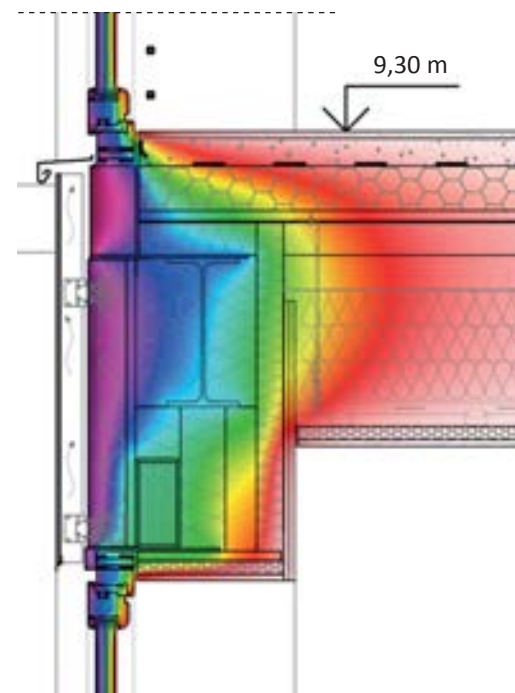
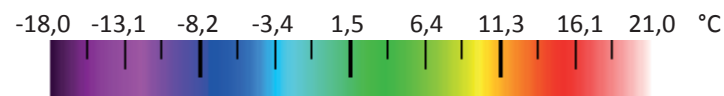


Fig.039 Particolare della sezione verticale in corrispondenza degli infissi esterni

#### LEGENDA CROMATICA DELLE SOGLIE ISOTERMICHE



#### DISCONTINUITÀ TRA INFISSO ESTERNO E CHIUSURA INCLINATA

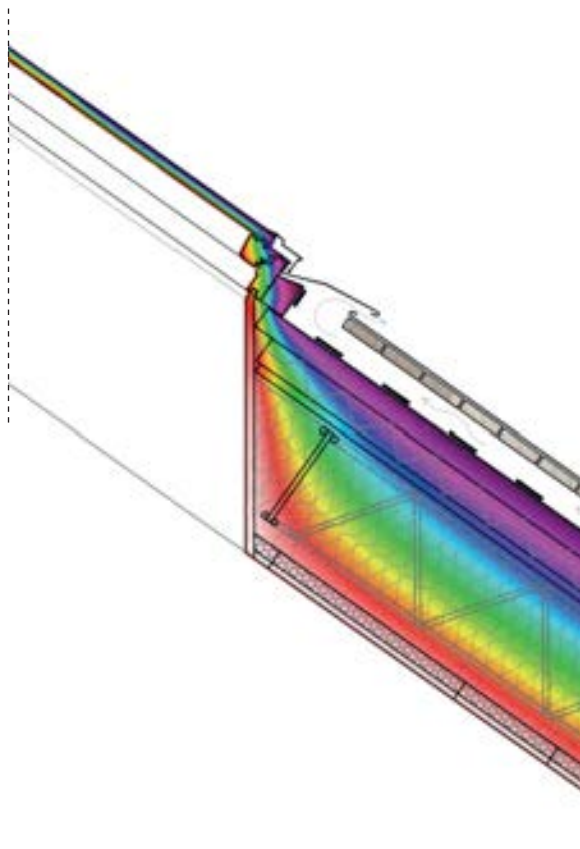


Fig.040 Particolare della sezione verticale in corrispondenza della finestra per tetti

La verifica sugli infissi permette di accertare che la superficie interna si trovi ad una temperatura superiore al punto di rugiada, corrispondente ad una temperatura superficiale di circa 13,5 °C quando è presente un'umidità relativa del 65 % ed una temperatura interna di 20 °C; il punto a temperatura minore, in ogni caso, è sempre sui telai degli infissi e mai sugli elementi opachi.

#### DISCONTINUITÀ MATERICA ALL'INTERNO DELLA CHIUSURA VERTICALE

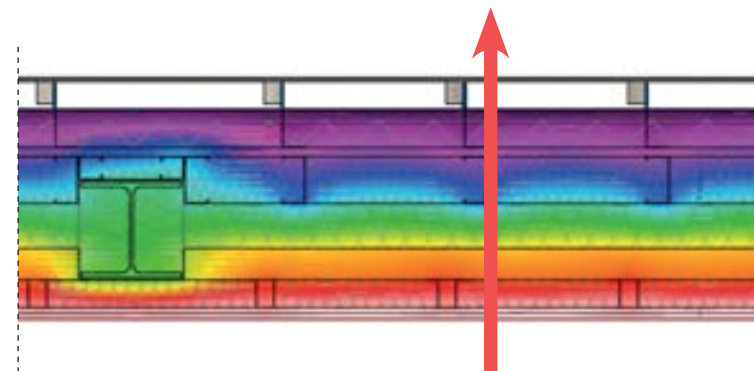


Fig.041 Particolare della sezione orizzontale della chiusura verticale



VERIFICA DELLA TRASMITTANZA TERMICA

$$U_{\text{UNI13786}} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{THERM}} = 0,113 \text{ W/m}^2\text{K}$$

+ 13 %



Lo studio completo della tecnologia costruttiva è riportato nelle tavole allegate nel book A3; a partire dagli elementi tecnici, di cui sono verificati i requisiti prestazionali, si passa ai particolari costruttivi dei giunti tra i suddetti elementi tecnici, per concludere con le verifiche dei ponti termici, riportate nelle tavole dei blow-up costruttivi.

## SPACCATO TECNOLOGICO

### P.O.I.01

#### Partizione orizzontale interna (Tav. IV.13):

- Finitura interna in parquet industriale
- Supporto in pavilastre su sottofondo in argilla espansa
- Intercapedine per il passaggio degli impianti
- Isolante morbido in lana di pecora
- Sistema di controsoffitto radiante

### I.E.V.01

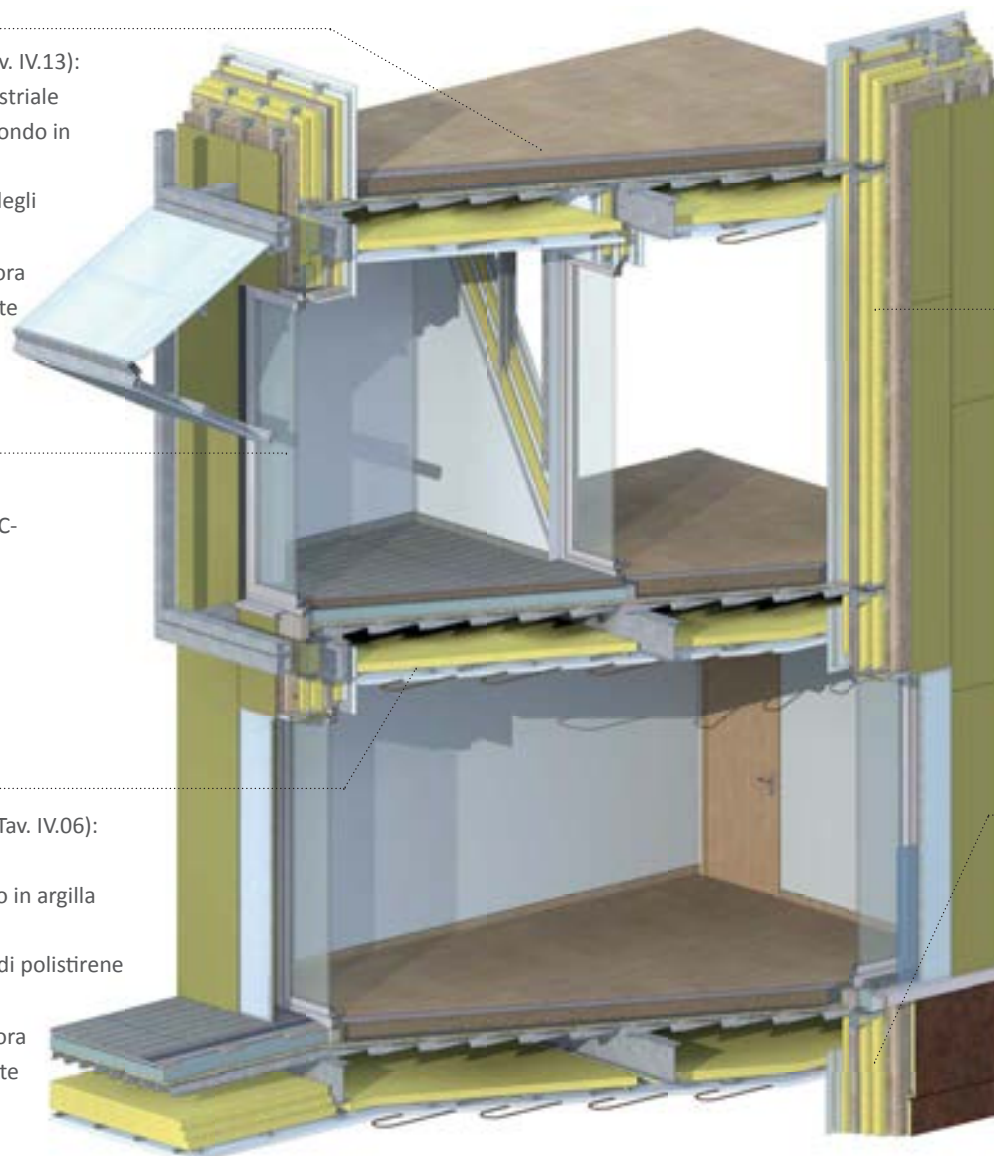
#### Infisso esterno verticale:

- Finestra scorrevole a libro in PVC-alluminio con triplo vetro basso emissivo

### C.O.03

#### Chiusura orizzontale praticabile (Tav. IV.06):

- Finitura esterna in ceramica
- Supporto in legno su sottofondo in argilla espansa
- Isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso (XPS)
- Isolante morbido in lana di pecora
- Sistema di controsoffitto radiante



### C.V.01

#### Chiusura verticale piani residenziali (Tav. IV.09):

- Finitura esterna in pannelli di fibrocemento con sistema di ventilazione di facciata
- Isolamento termico a cappotto in pannelli multistrato in fibra di legno
- Isolante morbido in lana di pecora
- Elemento prefabbricato di parete in legno lamellare
- Finitura interna in pannelli in cartongesso

### C.V.02

#### Chiusura verticale piano terra (Tav. IV.10):

- Finitura esterna in pannelli sandwich in acciaio CorTen
- Isolamento termico a cappotto in pannelli multistrato in fibra di legno
- Isolante morbido in lana di pecora
- Elemento prefabbricato di parete in legno lamellare
- Finitura interna in pannelli in cartongesso







## CAPITOLO 5 - ANALISI ENERGETICA

- 5.1 **GLI OBIETTIVI DI EFFICIENZA ENERGETICA**
  - 5.1.1 L'EVOLUZIONE NORMATIVA
  
- 5.2 **RIFERIMENTI DI ECCELLENZA**
  - 5.2.1 FIRST LIVING MODEL HOME, CALIFORNIA, USA
  - 5.2.2 KINGSPAN LIGHTHOUSE, INGHILTERRA
  - 5.2.3 SOLTAG ENERGY HOUSING, DANIMARCA
  - 5.2.4 SIEEB, CINA
  - 5.2.5 PRINCIPI COMUNI
  
- 5.3 **SIMULAZIONE DINAMICA E OTTIMIZZAZIONE**
  - 5.3.1 TRNSYS (TRANSIENT SYSTEM SIMULATION PROGRAM)
  - 5.3.2 TRNBUILD
  - 5.3.3 MODELLI DI STUDIO
  - 5.3.4 PARAMETRI DEL PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE
  - 5.3.5 GENOPT (GENERIC OPTIMIZATION PROGRAM)
  - 5.3.6 RISULTATI DELL'OTTIMIZZAZIONE
  - 5.3.7 COMFORT IGROTERMICO
  - 5.3.8 VENTILAZIONE NATURALE CONTROLLATA: VERIFICA
  
- 5.4 **SCHEMATIC DESIGN**
  - 5.4.1 STRATEGIE PER L'INVOLUCRO
  - 5.4.2 LE SERRE BIOCLIMATICHE
  
- 5.5 **SCELTE IMPIANTISTICHE**
  - 5.5.1 FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA
  - 5.5.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER LA CLIMATIZZAZIONE
  - 5.5.3 TRATTAMENTO DELL'ARIA
  - 5.5.4 RECUPERO DELLE ACQUE METEORICHE
  - 5.5.5 ENERGIE RINNOVABILI
  
- 5.6 **CERTIFICAZIONE ENERGETICA**
  
- 5.7 **ACTIVE HOUSE**

## PREMESSA

Nel quinto capitolo si approfondisce il tema energetico: nel contesto attuale, caratterizzato da una crescente attenzione alla sostenibilità ambientale e dal permanere di una congiuntura economica sfavorevole, si sta manifestando una sempre crescente aspettativa sul potenziale sviluppo dell'efficienza energetica.

Si introduce il concetto di efficienza energetica, spiegando l'accezione con la quale è considerato nel presente lavoro di Tesi, si delinea un quadro storico dell'evoluzione legata all'efficienza energetica nel nostro Paese e si introduce una panoramica sulle principali tecnologie per l'efficienza energetica in ambito edilizio residenziale, in relazione ad alcuni esempi di eccellenza.

Inoltre si verifica il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente in termini di risparmio energetico, tramite un'analisi in regime dinamico: condotta utilizzando il software di simulazione dinamica Trnsys.

Alla simulazione dinamica si accoppia un processo di ottimizzazione dei parametri edilizi, effettuato mediante l'utilizzo del software generico di ottimizzazione GenOpt, dimostrando la validità delle scelte architettoniche fatte in precedenza.

In seguito all'analisi energetica è stato svolto il dimensionamento degli impianti, al fine dell'ottenimento delle prestazioni richieste, congruentemente con i risultati dell'analisi dinamica dell'edificio.

Il capitolo si conclude con la certificazione energetica, secondo quanto stabilito dalla normativa della Regione Lombardia, nella quale si ottiene una valutazione ottimale in classe A+, nonostante il software CENED+ non tenga conto del comportamento dinamico dell'involucro.

Il tutto è ricondotto ad un'analisi secondo i parametri di Active House, riscontrando le ripercussioni positive delle scelte effettuate in termini di sostenibilità e comfort.



## 5.1 GLI OBIETTIVI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Il concetto di efficienza energetica corrisponde alla riduzione dell'impiego di energia, termica o elettrica, necessaria per conseguire determinati standard qualitativi senza limitare gli obiettivi preposti.

L'efficienza energetica rientra inoltre all'interno del concetto più ampio di risparmio energetico, che comprende anche la riduzione dell'impiego di energia, e per questo ha assunto un'importanza sempre più crescente nel dibattito e nelle politiche energetiche dei Paesi industrializzati.

La crescita della ricchezza e del benessere che ha interessato tali Stati negli ultimi decenni, con l'aumento della popolazione mondiale, di quasi tre volte a partire dal 1950, e del consumo di combustibili fossili, di dieci volte nello stesso periodo, ha inevitabilmente determinato delle forti tensioni a livello di sistema energetico globale, evidenziando l'importanza del concetto di sviluppo sostenibile.

Il risvolto ambientale contribuisce non di meno a rendere il tema dell'efficienza molto importante: la produzione di energia con l'impiego di combustibili fossili comporta pesanti effetti negativi per l'ambiente e per il clima, con l'emissione di inquinanti locali nocivi per la salute umana e di gas serra responsabili del surriscaldamento globale e di cambiamenti ambientali, quali lo scioglimento dei ghiacciai e l'innalzamento del livello dei mari.

L'efficienza energetica sembra dunque essere la risposta all'esigenza di sviluppo sostenibile, non pregiudicando il concetto di crescita e supponendo un utilizzo ottimale delle risorse ambientali.

La portata degli interventi relativi all'efficienza energetica dipende in gran parte dalle politiche economiche, ambientali e industriali del Paese; a tal proposito si analizzano gli obiettivi europei e nazionali, attraverso la lettura del quadro normativo, in particolare nell'ambito dell'edilizia residenziale.

### 5.1.1 L'EVOLUZIONE NORMATIVA

Il primo Paese a introdurre il concetto di isolamento termico minimo necessario, è stato l'Italia nel 1976, in seguito alle crisi energetiche degli anni Settanta; in seguito, con la Legge n.10 del 1991 *"Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"*, si pone l'obiettivo di ridurre i consumi energetici degli edifici.

I concetti espressi da tale legge sono:

- introduzione del principio della certificazione energetica degli edifici;
- obbligo per le Province e i Comuni con più di 40.000 abitanti di effettuare controlli periodici sul rendimento di combustione degli impianti termici;
- obbligo per gli edifici pubblici e privati di essere progettati e messi in opera per contenere al massimo i consumi di energia termica ed elettrica;
- obbligo di realizzazione degli impianti di riscaldamento per edifici di nuova costruzione con sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore per ogni singola unità immobiliare;
- obbligo, salvo impedimenti di natura tecnica, per la Pubblica Amministrazione di utilizzo di fonti rinnovabili di energia per soddisfare il fabbisogno energetico degli edifici di cui è proprietaria.

Il 16 dicembre 2002, dieci anni più tardi, il Parlamento Europeo emana la Direttiva 2002/91/CE, riguardo il rendimento energetico nell'edilizia, denominata *"Energy Performance Building Directive"* (EPBD).

Tale Direttiva, con l'obiettivo di instaurare un sistema diffuso di certificazione energetica degli edifici sul territorio europeo e di favorire la presenza di edifici a basso impatto energetico, impone agli Stati membri di dotarsi di un apparato legislativo che preveda:

- lo sviluppo di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici e di una procedura per la certificazione energetica;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici nuovi ed esistenti;

- l'avvio di un meccanismo di ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, e una perizia degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

La Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010 contiene sostanzialmente quanto riportato nella 2002/91/CE relativamente alla prestazione energetica nell'edilizia EPBD 2.

Inoltre, la nuova Direttiva si pone l'obiettivo di aumentare il numero di edifici a energia quasi zero, NZEB "*Net Zero Energy Building*", presenti sul territorio europeo, e indica una metodologia per l'attestazione dell'efficienza energetica:

- al momento della costruzione, della compravendita o della locazione di un edificio di nuova costruzione o esistente, è necessaria la compilazione di un Attestato di Certificazione Energetica con una validità massima di 10 anni che raffronti la prestazione energetica di un edificio a valori di riferimento;
- gli Stati membri devono provvedere all'istituzione di sistemi di controllo indipendenti per il rilascio degli attestati, così come per i rapporti di ispezione degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria.

L'introduzione del principio di edificio a energia quasi zero come punto di arrivo dell'impianto normativo, e l'importanza data alla certificazione energetica, rappresentano due importanti novità cui il quadro normativo dei diversi Stati membri ha dovuto adeguarsi.

Appare chiara la volontà di definire un percorso rivolto all'efficienza energetica nel 2020, che si basa su quattro principi cardine:

- lo sviluppo di una metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici quanto più possibile oggettiva, univoca, e oggetto di applicazione da parte di professionalità adeguatamente formate e certificate;
- la presenza di un sistema di monitoraggio pressoché continuo delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio;
- la progressiva introduzione di obblighi di incremento della prestazione energetica degli edifici;

- lo sviluppo di una coscienza dell'efficienza energetica.

I primi provvedimenti sul tema del rendimento energetico degli edifici e della certificazione energetica sono emanati, a seguito della Direttiva CE del 2002, con il Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, successivamente modificato dal Decreto Legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006, che prevedeva:

- un regolamento per la definizione delle metodologie di calcolo e dei requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti;
- un Decreto Ministeriale per l'emanazione delle Linee Guida Nazionali per la certificazione energetica degli edifici;
- un regolamento con i criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi di certificazione energetica.

I primi due punti sono stati approvati nel 2009, rispettivamente con il Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 e il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009, mentre il terzo punto è ancora in attesa di definizione.

Infine la Direttiva 2010/31/UE, è stata recepita, pur con un ritardo di tre anni, mediante l'approvazione della Legge n.90 del 3 agosto 2013 "*Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione Europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale*".

Esiste anche una forte incertezza sull'implementazione dell'obiettivo di risparmio energetico negli edifici appartenenti alla Pubblica Amministrazione, in quanto esso non è definito e quantificato in maniera chiara e non esiste un dettaglio di quali siano le tipologie di edificio soggette all'obbligo.

## 5.2 RIFERIMENTI DI ECCELLENZA

### 5.2.1 FIRST LIVING MODEL HOME, CALIFORNIA, USA

La casa utilizza strategie ed elementi ecologici di vario tipo ma il fattore zero energia, emissioni e carbonio è principalmente assicurato dal rapporto con il sole e con il vento.

La programmazione, il rapporto con il sito e i sistemi passivi ad alte prestazioni (in particolare riscaldamento passivo e sfruttamento di luce e ventilazione naturale) hanno prodotto carichi energetici complessivi sostanzialmente inferiori a quelli delle case tipo americane.

La sezione dell'edificio presenta alti soffitti e il posizionamento di finestre e lucernari che garantiscono condizioni ottimali di illuminazione naturale, ventilazione incrociata ed effetto camino.

Materiali e finiture assicurano il riflesso e la penetrazione della luce naturale, il controllo solare e il corretto flusso d'aria, con il risultato che tutti gli spazi sono luminosi e ben ventilati.

La ventilazione naturale è tale da ridurre notevolmente le esigenze di raffrescamento estivo, rendendo superflua la climatizzazione.

Il controllo solare è assicurato da balconi, aggetti e pannelli grigliati, basati su appositi studi solari e analisi energetiche, che non bloccano la luce solare diretta durante il periodo invernale.

L'energia usata dagli edifici nel corso del tempo del loro utilizzo è molto superiore a quella necessaria per produrre i materiali impiegati per costruirli.

È più importante rendere la casa efficiente e ridurre il fabbisogno energetico con impianti fotovoltaici, solari e geotermici.

L'energia, anche prodotta con strategie solari attive e passive, è sempre la priorità.

Un sistema di monitoraggio continuo rileva il consumo di acqua ed energia e controlla la prestazione degli impianti.

Questo sistema attiene all'obiettivo "zero ignoranza", volto a informare i residenti sui propri consumi perchè modifichino il proprio stile di vita di conseguenza.

La LivingHome combina strategie passive a bassa tecnologia, sistemi attivi ad alta efficienza e un sistema di monitoraggio che consente agli utenti di visualizzare l'impatto del loro stile di vita, rendendoli così anche più pronti ad agire per ridurlo.



Fig.001 First Living Model Home, Santa Monica, California, USA



Fig.002 Pianta e interni della First Living Model Home, Santa Monica, California, USA



Tab.001 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame

SCHEDA DEL PROGETTO		
Scheda dell'edificio	Denominazione	First Living Home Model Home (già Z6 House)
	Progettazione	Ray Kappe Architects/Planners, Pacific Palisades, California, USA per Living Homes (proprietario/soc. Immobiliare), Santa Monica, California, USA; www.livinghomes.net
	Località	Santa Monica, California, USA
	Tipologia	Residenziale
	Superficie	230 m <sup>2</sup>
Architettura solare	Latitudine	34° LN
	Heating Degree Days	865 HDD °C (temperature di base 18°C; media 3 anni)
	Cooling Degree Days	490 CDD °C
	Strategie di contenimento	Disposizione spaziale flessibile per accogliere esigenze e funzioni future, condizioni di comfort termico in assenza di climatizzazione
	Strategie solari passive	Illuminazione naturale, finestre apribili, ventilazione incrociata ed effetto camino, accumulo termico passivo diretto, frangisole esterni
	Strategie solari attive	Impianto fotovoltaico, impianto termico solare ad acqua calda per riscaldamento e acqua calda sanitaria
	Altre strategie da energie rinnovabili	Nessuna
Profilo prestazioni	Strategie ad alte prestazioni	Elettrodomestici Energy Star, luci LED, sistema a controllo automatico, raffrescamento notturno con sistema Whole-House Fan, infissi e involucro ad alte prestazioni
	Consumo energetico annuo dell'edificio	44 kWh/m <sup>2</sup> (previsto)
	Totale energia prodotta in loco (all'anno)	60% energia rinnovabile in loco, 9,6% energia rinnovabile fornita da rete
	Potenza impianto fotovoltaico	2,4 kW (previsto per soddisfare 60-75% del fabbisogno elettrico)
	Potenza impianto solare termico	Collettore solare a tubi sottovuoto per riscaldamento a pavimento e acqua calda sanitaria
Emissioni CO <sub>2</sub>	Dato non disponibile	

### 5.2.2 KINGSPAN LIGHTHOUSE, INGHILTERRA

Trattandosi della prima casa inglese a emissioni zero, ha ottenuto il Livello 6, cioè lo standard più elevato, del Code for Sustainable Homes.

L’Innovation Park comprende una comunità di residenze dimostrative a basse emissioni di carbonio, che mettono in luce innovative strategie di design sostenibile oltre alle nuove normative come il Code for Sustainable Homes.

La qualità dello spazio, il rapporto con il luogo, il comfort termico e l’esperienza della luce sono rigorosamente riconciliati agli standard più severi in fatto di edifici a zero energia ed emissioni.

L’unico dato imprescindibile è l’esposizione diretta al sole della copertura, che implica edifici adiacenti non molto alti e un orientamento idoneo all’accumulo termico.

A differenza delle soluzioni solari passive più tradizionali, spesso fondate in Gran Bretagna dall’uso di zone cuscinetto, la Lighthouse unisce strategie attive e passive a sistemi che funzionano diversamente su base stagionale.

Il sistema termico ibrido passa da una modalità prevalentemente passiva per il raffrescamento e la ventilazione per l’estate e i periodi interstagionali a una modalità attiva per il riscaldamento e la ventilazione in inverno.

Per realizzare spazi ricchi di luce naturale malgrado la superficie vetrata ridotta gli architetti hanno posizionato le zone notte al piano inferiore e le zone giorno a quello superiore, più ricco di luce naturale, aria e vedute panoramiche.

L’abitazione gode complessivamente di un fattore medio di luce diurna dell’1,5-2,0%, equivalente ad un ambiente luminoso di alta qualità.

I piccoli balconi sui lati est e ovest, dotati di parapetti vetrati aumentano la luminosità, e aprono verso l’esterno.

Luce naturale, protezione solare, ventilazione e raffrescamento passivo sono regolati su base stagionale per creare la qualità e il comfort termico e luminoso preferito dai residenti.

Strategie di progettazione passiva e sistemi attivi collaborano a soddisfare le diverse necessità stagionali di caldo e freddo.

Proprio le strategie progettuali hanno consentito di ridurre il fabbisogno energetico e definire un budget energetico contenuto coperto da impianti ed elettrodomestici ad alto rendimento oltre che da sistemi a energie rinnovabili.

Strategie progettuali e impianti sono applicati in modo da facilitarne l’uso e promuovere comportamenti ecologicamente responsabili.

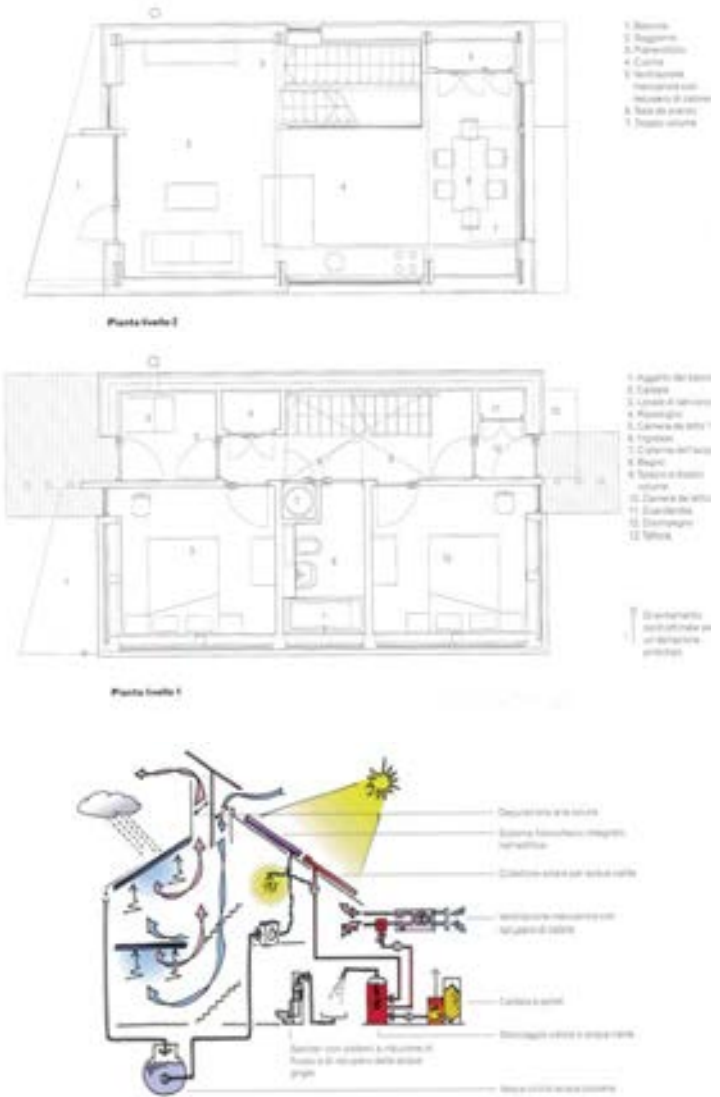
Il problema del cambiamento climatico e del surriscaldamento estivo è risolto dall’edificio stesso e dai suoi sistemi passivi di raffrescamento, ventilazione, illuminazione e controllo dell’accumulo termico mediante sei strategie:

- grandi aperture protette per la ventilazione;
- finestre di dimensioni ridotte;
- frangisole (modificabili in futuro);
- elettrodomestici a basso consumo (a bassa emissione di calore);
- ambienti con superfici “termicamente pesanti” per assorbire il calore diurno;
- sistema di depurazione (che espelle il calore alla notte).

L’energia passiva richiede ai residenti di adattarsi in modo intuitivo alla casa. I sistemi attivi devono essere low-tech e semplici da controllare. L’architettura può indurre cambiamenti comportamentali.



Fig.003 Kingspan Lighthouse, Inghilterra



Tab.002 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame

SCHEMA DEL PROGETTO		
Scheda dell'edificio	Denominazione	Kingspan Lighthouse
	Progettazione	Sheppard Robson, Alan Shingler e Martin Rose, Londra, Inghilterra; <a href="http://www.sheppardrobson.com">www.sheppardrobson.com</a>
	Località	Building Research Establishment Ltd. (BRE) Innovation Park, Watford, Hertfordshire, Inghilterra
	Tipologia	Residenziale
	Superficie	93,3 m <sup>2</sup>
Architettura solare	Latitudine	51° LN
	Heating Degree Days	2258 HDD °C (temperature di base 18°C; media 5 anni)
	Cooling Degree Days	211 CDD °C
	Strategie di contenimento	Planimetria ridotta, assenza di climatizzazione meccanica, spazi flessibili in vista di diverse esigenze e funzionalità future
	Strategie solari passive	Illuminazione naturale, finestre apribili, ventilazione incrociata, camino solare, frangisole, progettata per adeguarsi a un aumento di temperatura medio di 2,5 °C previsto a causa dei cambiamenti climatici
	Strategie solari attive	Sistema fotovoltaico, impianto termico solare per acqua calda
	Altre strategie da energie rinnovabili	Nessuna
Profilo prestazioni	Strategie ad alte prestazioni	Impianti meccanici ad alto rendimento, elettrodomestici a basso consumo, ventilazione meccanica con recupero di calore, caldaia a biomassa, illuminazione elettrica efficiente, massa termica con materiali a cambiamento di fase, infissi ad alte prestazioni, involucro altamente isolato
	Consumo energetico annuo dell'edificio	83 kWh/m <sup>2</sup> ; riscaldamento ambienti: 19 kWh/m <sup>2</sup> ; acqua calda: 29 kWh/m <sup>2</sup>
	Totale energia prodotta in loco (all'anno)	Dato non disponibile
	Potenza impianto fotovoltaico	4,7 kW, 46 m <sup>2</sup>
	Potenza impianto solare termico	2940 kWh/anno
Emissioni CO <sub>2</sub>	Riscaldamento a acqua calda: 45 kg CO <sub>2</sub> /anno (compensati dall'energia fotovoltaica fornita alla rete)	



### 5.2.3 SOLTAG ENERGY HOUSING, DANIMARCA

*"Le finestre sono posizionate in modo da ottimizzare luce e visuali: questo incide sul modo in cui le persone vivono la casa."* (Kurt Emil Eriksen & Per Arnold Andersen; Velux Danmark)

Concepita nell'ambito del progetto Demohouse per il Sesto Programma Quadro dell'Unione Europea, SOLTAG, o "tetto solare", è un'abitazione prefabbricata montabile sopra strutture preesistenti, basata sul solare e autonoma in termini energetici.

I suoi ambiziosi obiettivi carbon neutral fanno riferimento alle leggi e alle direttive UE per la riduzione delle emissioni e dei consumi energetici degli edifici.

L'energia per illuminazione e riscaldamento deriva dall'architettura passiva, mentre i sistemi attivi producono elettricità e acqua calda.

La superficie inclinata ammette il doppio di luce rispetto alla facciata verticale – le coperture inclinate sono infatti ideali come fonti di luce.

Le superfici vetrate laterali e zenitali ammontano al 28% della superficie di pavimento, percentuale ben più alta di quella presente nelle normali soluzioni abitative.

I lucernari sono dotati di avvolgibili automatici che controllano l'accumulo termico nel periodo più caldo dell'anno, mentre una semplice tettoia a scomparsa protegge il balcone sud.

Sono stati analizzati anche i valori di luminanza per evitare problemi di abbagliamento e contrasto eccessivi e ottimizzare la qualità e la quantità di luce su base giornaliera e stagionale.

Il sistema energetico integrato prevede pompa di calore, unità di ventilazione, serbatoio per l'acqua calda, pannelli termici solari (acqua calda sanitaria e riscaldamento a pavimento) e doppio tetto con celle solari.

L'intercapedine del tetto pre-riscalda l'aria per la pompa di calore che produce acqua calda sanitaria e per il riscaldamento a pavimento e ad aria.

Il flusso d'aria che passa sotto le celle fotovoltaiche le raffredda ottimizzandone il funzionamento.

L'unità compatta interna di ventilazione e recupero di calore e il ventilatore meccanico sostituiscono l'aria calda "esaurita" con aria fresca attinta dall'esterno. Il calore è riciclato al 90%.

L'involucro edilizio è composto da una struttura a tenuta d'aria e da uno strato isolante di 350 mm nei muri e di 400 mm nel tetto.

Il sistema di controllo solare automatizzato mantiene la casa fresca in estate rendendo inutile la climatizzazione.

La progettazione integrata dei sistemi energetici costituisce un modo semplice, privo di complicazioni e standardizzato di produrre riscaldamento a zero energia e carbon neutral in un clima nordico temperato.

Il progetto evidenzia l'importanza dell'integrazione tra progettazione architettonica e sistemi standardizzati e non complessi.

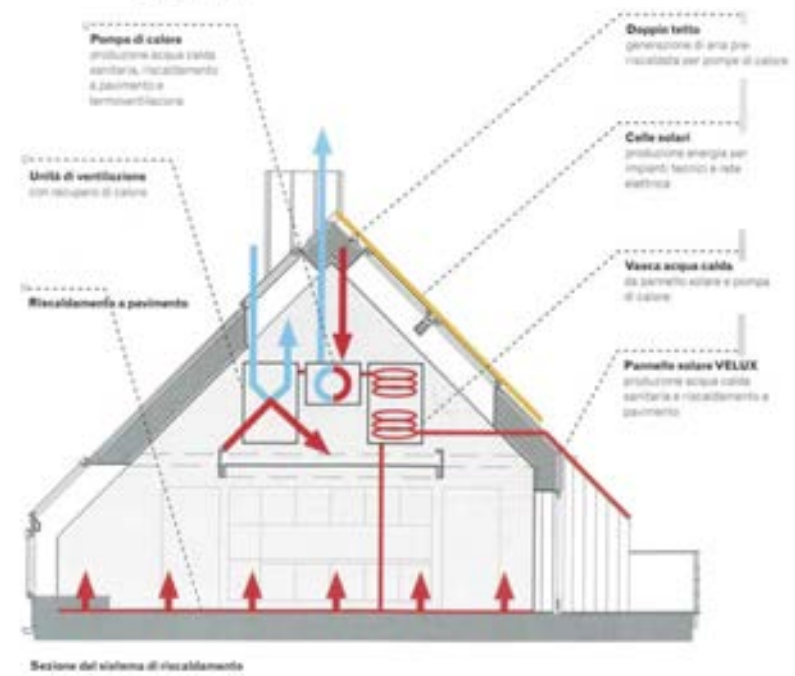


Fig.004 SOLTAG Energy Housing, Horsholm, Danimarca

Tab.003 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame

SCHEMA DEL PROGETTO		
Scheda dell'edificio	Denominazione	SOLTAG Energy Housing
	Progettazione	Nielsen & Rubow, Cenergia, Kuben Byfornyelse Danmark, e Velux; www.soltag.net
	Località	Horsholm, Danimarca
	Tipologia	Residenziale
	Superficie	84 m <sup>2</sup>
Architettura solare	Latitudine	55° LN
	Heating Degree Days	3286 HDD °C (temperature di base 18°C; media 5 anni)
	Cooling Degree Days	126 CDD °C
	Strategie di contenimento	Spazi contenuti e superficie complessiva ridotta
	Strategie solari passive	Illuminazione naturale, ventilazione incrociata, solare passivo diretto
	Strategie solari attive	Impianto fotovoltaico, impianto termico solare ad acqua calda
	Altre strategie da energie rinnovabili	Non applicabili
Strategie ad alte prestazioni	Unità di ventilazione a recupero di calore e ventilazione meccanica; elettrodomestici, impianti e illuminazione ad alte prestazioni; involucro altamente isolato; spessore isolante 350 mm nei muri e 400 mm in copertura; struttura a tenuta d'aria; doppio tetto (generazione aria preriscaldata per pompa calore)	
Profilo prestazioni	Consumo energetico annuo dell'edificio	Consumo per riscaldamento e acqua calda: 60 kWh/m <sup>2</sup> senza celle solari; 48 kWh/m <sup>2</sup> con 3,5 m <sup>2</sup> di celle solari; 0 kWh/m <sup>2</sup> con 17,5 m <sup>2</sup> di celle solari
	Totale energia prodotta in loco (all'anno)	Si veda sopra
	Potenza impianto fotovoltaico	Si veda sopra: da 3,5 m <sup>2</sup> a 17,5 m <sup>2</sup> di celle solari (pannelli fotovoltaici per alimentazione di pompe e ventilatori tutto l'anno con altri 14 m <sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici per il riscaldamento in inverno; esclusa l'energia per elettrodomestici e illuminazione, fornita da rete esterna)
	Potenza impianto solare termico	2 m <sup>2</sup> ; acqua calda termica per acqua calda sanitaria e riscaldamento a pavimento
	Emissioni CO <sub>2</sub>	Carbon neutral netto per riscaldamento; 0 kg CO <sub>2</sub> /anno con 17,5 m <sup>2</sup> di celle solari

#### 5.2.4 SIEEB, CINA

L'architettura a basso consumo e a basse emissioni è un obiettivo primario del progetto SIEEB.

*Secondo Mario Cucinella: "L'idea di bellezza cambia in relazione al tempo e alla cultura. Prima della Rivoluzione industriale, l'edificio si relazionava al clima e ad aspetti più complessi della cultura e del contesto urbano. La bellezza si è sempre relazionata al clima e all'esposizione solare.*

*La bellezza ha molte forme. La tecnologia ha influenzato l'architettura in ogni epoca. Le strategie solari, fotovoltaiche e di schermatura possono definire una nuova estetica dell'architettura."*

La principale priorità a livello progettuale è stata la riduzione dei consumi attraverso strategie passive e controllo solare per riscaldamento e raffreddamento ma anche un'attenzione a temi culturali e contestuali più ampi.

A Pechino capita spesso di vedere strutture antiche accanto a edifici modernissimi.

Nella fase di progettazione preliminare sono state considerate diverse forme possibili ed è stato svolto uno studio di fattibilità per verificare l'idoneità dell'edificio a soddisfare ogni requisito a livello di superficie, volume edificato specifico e distribuzione spaziale.

Le forme risultanti sono state quindi analizzate in termini di prestazione solare.

È stata così sviluppata la forma più adatta a massimizzare gli accumuli termici in inverno e a minimizzarli in estate.

Si tratta di una forma a gradoni che protegge l'edificio dai freddi venti settentrionali ma fa entrare il sole invernale, assicurando controllo solare e ombra al lato sud durante i mesi estivi.

La prestazione migliore non coincide sempre con la forma migliore. L'analisi della forma è un tema importante. L'estetica è il risultato di questo processo.

L'edificio a forma di U è simmetrico lungo l'asse nord-sud e articolato verso sud da terrazzi digradanti intorno alla corte centrale ribassata rispetto alla strada.

La corte centrale è uno spazio pubblico formato da terrazze verdi, rampe e passerelle che attirano i visitatori verso il cuore dell'edificio.

La sezione a gradoni consente a luce e aria di arrivare alla quota più bassa senza impedire la creazione di ampie connessioni fisiche e visive tra spazi interni ed esterni.

I dispositivi frangisole a sud e i giardini esterni hanno il compito di garantire condizioni luminose e termiche adeguate alle stagioni, mentre il doppio involucro a est e a ovest promuove la ventilazione naturale nei mesi estivi.

La forma dell'edificio ottimizza le strategie passive per l'illuminazione e la ventilazione naturali e per l'accumulo termico.

Sia l'architettura che gli impianti tecnologici svolgono ruoli educativi importanti. Le soluzioni solari passive per illuminazione e ventilazione naturali, raffrescamento e riscaldamento sono espresse nella forma e nella sezione dell'edificio, mentre tecnologie e sistemi innovativi sono racchiusi nei dettagli dell'involucro e nei dispositivi frangisole.

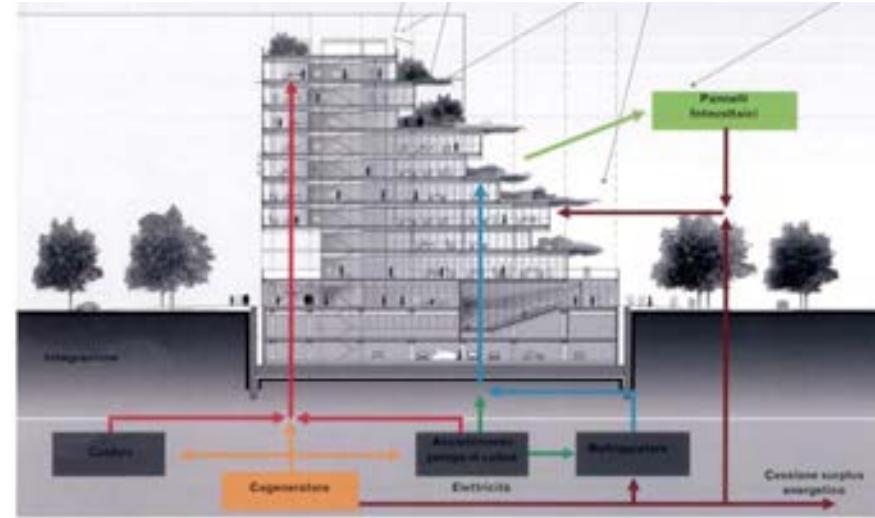
Gli impianti termici e di illuminazione sono progettati per integrare e supportare strategie progettuali passive.

Il calore prodotto in eccesso dai generatori elettrici a gas è riutilizzato per riscaldare l'acqua tutto l'anno e per il riscaldamento in inverno e il raffrescamento in estate attraverso l'uso di refrigeratori ad assorbimento.

Il sistema riduce ulteriormente i consumi inutili regolando la temperatura e il ricambio d'aria in base all'occupazione reale, non ipotetica, degli ambienti.

Il SIEEB dimostra che la realizzazione di nuovi obiettivi ecologici e possibilità estetiche da parte dell'architettura solare nel ventunesimo secolo dipende da nuove forme di associazione e collaborazione e da nuovi processi progettuali.

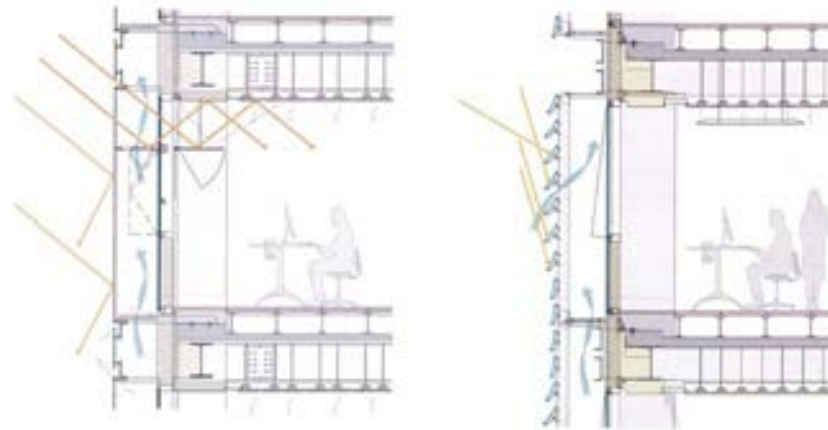




Schema degli impianti



Facciata ovest



Dettagli di sezioni dell'involucro

Fig.005 Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building, Pechino, Cina

Tab.004 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame

SCHEMA DEL PROGETTO		
Scheda dell'edificio	Denominazione	Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building (SIEEB)
	Progettazione	Mario Cucinella Architects, Bologna, Italia; www.mcarchitects.it
	Località	Università Tsinghua, Pechino, Cina
	Tipologia	Ricerca
	Superficie	20000 m <sup>2</sup>
Architettura solare	Latitudine	39° LN
	Heating Degree Days	2848 HDD °C (temperature di base 18°C; media 5 anni)
	Cooling Degree Days	1032 CDD °C
	Strategie di contenimento	Ottimizzazione forma e volumetria edilizia; creazione zone termiche e luminose
	Strategie solari passive	Illuminazione naturale, accumulo termico passivo diretto, frangisole esterni, accumulo massa termica, configurazione a pianta aperta, ventilazione naturale, finestre apribili
	Strategie solari attive	Sistema fotovoltaico
	Altre strategie da energie rinnovabili	Nessuna
Profilo prestazioni	Strategie ad alte prestazioni	Fotosensori luce naturale, sensori di presenza, illuminazione elettrica ad alte prestazioni, cogenerazione, soffitti radianti, ventilazione a dislocamento, vetri e involucro ad alte prestazioni
	Consumo energetico annuo dell'edificio	Previsti 1883 MWh (tutti i valori risultano da studi energetici ottimizzati compiuti prima della costruzione)
	Totale energia prodotta in loco (all'anno)	Previsione fabbisogno per raffreddamento: 963 kW
	Potenza impianto fotovoltaico	Previsione fabbisogno per illuminazione: 357 kW
	Potenza impianto solare termico	Previsione fabbisogno per riscaldamento: 230 kW
Emissioni CO <sub>2</sub>	Dato non disponibile	
		Impianto fotovoltaico 19,95 kW, 1000 m <sup>2</sup>
		Non presente
		Previste 1200 t CO <sub>2</sub> e 5 t SO <sub>2</sub> annue

## 5.2.5 PRINCIPI COMUNI

Gli edifici sostenibili di nuova generazione devono ridefinire gli attributi fisici dell'architettura per consentire di ridurre l'impatto sull'ambiente, generando un'impronta ecologica drasticamente ridotta.

Esistono tre elementi che non vanno mai considerati in modo separato:

- forma e funzione;
- salute, sostenibilità e impronta ecologica;
- costo e valore.

Visto che il sole è all'origine di ogni aspetto del clima, è logico definire "architettura solare" tutte le tecniche adottate negli edifici per trarre beneficio da esso.

La nuova architettura solare impone un profilo che ottimizza illuminazione e ventilazione naturali, con un involucro che reagisce agli agenti atmosferici, riducendo o eliminando la dipendenza dai combustibili fossili.

La scala e la velocità dei cambiamenti comporta un evidente carattere di urgenza che ha dato luogo a un nuovo spirito di innovazione ed esplorazione progettuale e ad una volontà di focalizzare l'impegno per trovare soluzioni ecologiche più serie; ponendo gli ambiziosi obiettivi di: zero energia e carbon neutral.

Non esiste un modo univoco di fare architettura solare: lo sfruttamento delle condizioni microclimatiche dipende dal sito specifico, non solo dalla posizione geografica ma dal luogo preciso e dall'impatto dell'ambiente e degli edifici circostanti.

*"Le parole chiave in questo ambito sono i sistemi solari ibridi, involucri edilizi microclimatici e facciate autoregolanti."* (Manfred Hegger, Solar Architecture)

La priorità assoluta è la progettazione passiva, che ricava energia proprio dall'architettura; la seconda priorità sono le tecnologie rinnovabili a supporto

delle soluzioni progettuali: se non si sfruttano le opportunità architettoniche ed ecologiche della progettazione passiva, è difficile o impossibile realizzare edifici a zero o a bassa energia.

Vi è inoltre un ruolo fondamentale della progettazione architettonica nel passaggio a una società a rifiuti zero, dove la finalità evidente è istituire sistemi ciclici pensati per eliminare i rifiuti, non per gestirli a fine ciclo.

È possibile conservare un elevato stile di vita a fronte di risorse non illimitate.

Come prima cosa si identificano le dimensioni ottimali per soddisfare le richieste del cliente e si utilizzano i principi di "dimensioni adeguate" e "dimensioni ridotte" per contenere l'impronta dell'edificio.

Riscaldamento e condizionamento risultano concentrati, o addirittura eliminati, grazie a strategie formali semplici ma ingegnose.

Laddove la climatizzazione non sia eliminabile, si utilizzano sistemi attivi e passivi a base di energie rinnovabili.

*"Un'architettura più modesta può fare di una vita più sobria non un fardello ma un'opportunità."*

La preoccupazione crescente circa i cambiamenti climatici globali e l'esaurimento delle risorse ha portato anche molti architetti a usare l'involucro edilizio come strumento essenziale per ridurre il consumo di energia lungo l'intera vita dell'edificio.

*"La facciata dell'edificio assorbe tra il 15 e il 40% dell'intero budget costruttivo, dunque può incidere in modo rilevante, con un aumento fino al 40%, sul costo degli impianti."* (Michael Wigginton e Jude Harris)

L'integrazione di solare attivo e passivo impone agli architetti di porre in equilibrio:

- luce naturale;
- ventilazione;
- riscaldamento passivo;
- controllo solare;
- produzione di energia da fonti rinnovabili.

Ognuna di queste esigenze comporta decisioni progettuali come l'orientamento e la dimensione delle aperture e la scelta dei materiali, degli strati e dei dettagli interni ed esterni.

Clima e carichi termici influenzano notevolmente le dimensioni e la collocazione delle aperture, la ventilazione e il controllo solare.

Un involucro sensibile consente agli architetti anche di andare incontro alle esigenze degli utenti dando loro gli strumenti per modificare le condizioni interne durante la giornata e nel corso delle stagioni.

La modulazione degli strati interni ed esterni consente a un involucro sensibile di offrire qualità e livelli specifici di luce naturale, calore solare, ombra, aria, apertura visiva e rapporto con il sito.

Una cosa accomuna tutti gli involucri edilizi ecosensibili: la natura più architettonica che tecnologica.

A prescindere dai metodi utilizzati, manuali o automatizzati, low o high-tech, quando gli utenti possono controllare le condizioni di comfort, qualità dello spazio, rapporto con il sito e consumo energetico, la qualità della vita e la salute ecologica del pianeta ne traggono beneficio.

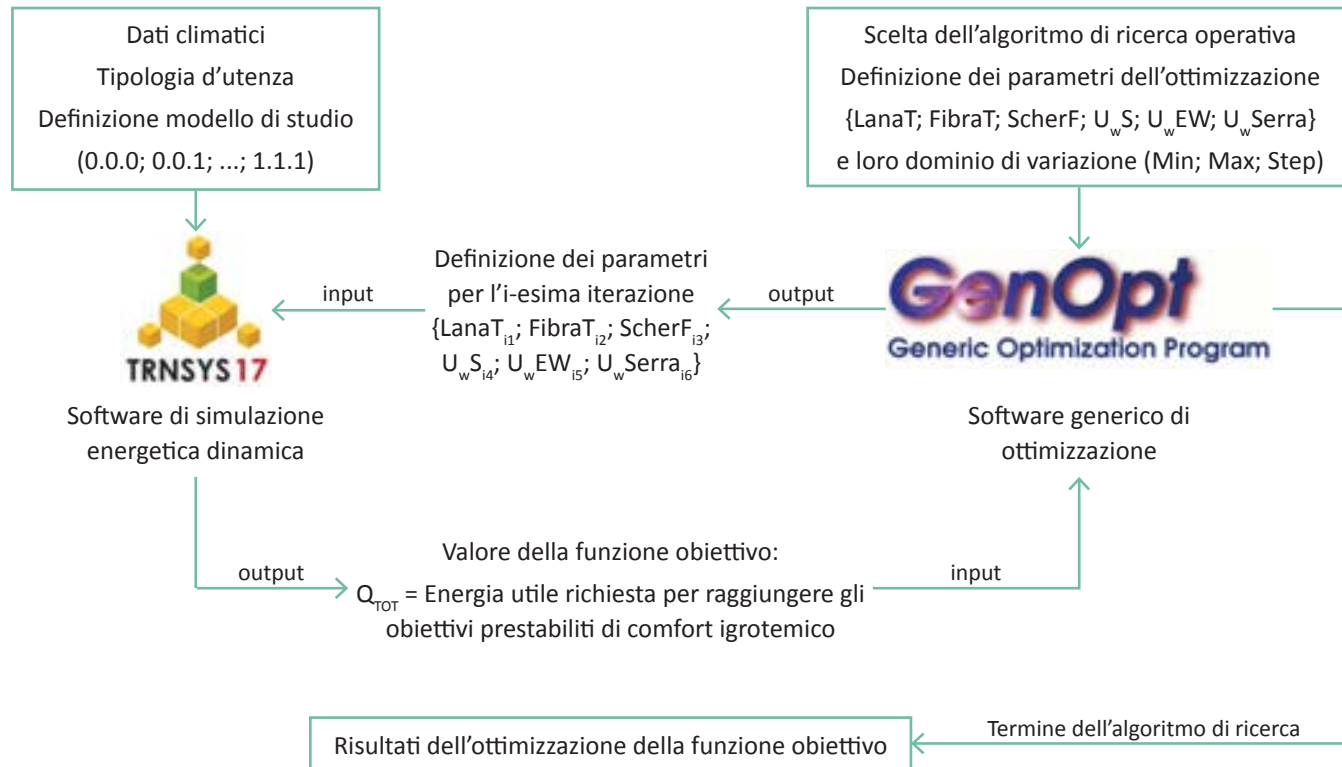
Gli utenti contribuiscono in modo cruciale al successo funzionale di un involucro sensibile.

### 5.3 SIMULAZIONE DINAMICA E OTTIMIZZAZIONE

Il processo di simulazione e ottimizzazione energetica di un edificio si svolge secondo la seguente logica operativa:

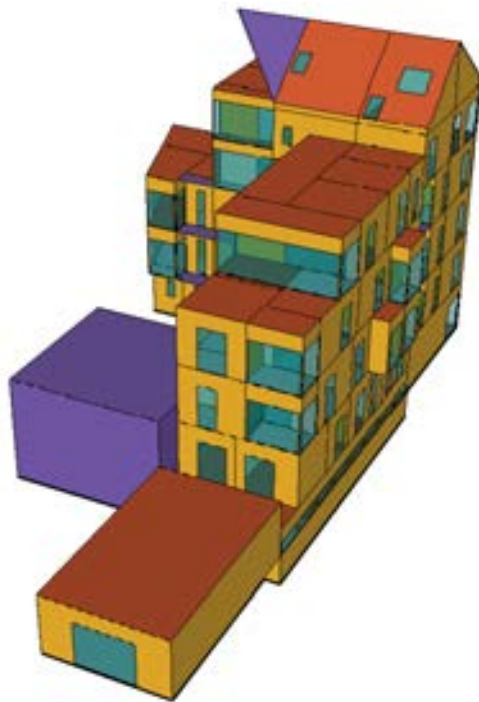
- formulazione dell'ipotesi iniziale sulla geometria e la tecnologia costruttiva del progetto secondo le linee guida degli standard di riferimento (es. CasaClima, ActiveHouse, PassivHouse, etc.);
- importazione del modello geometrico iniziale nell'ambiente di programmazione del software TRNSYS e definizione delle condizioni al contorno ai fini di ottenere una simulazione dinamica dell'edificio il più accurata possibile;

- scelta delle caratteristiche geometriche e/o materiche da assumere come variabili ai fini dell'ottimizzazione dell'ipotesi iniziale di progetto in rapporto a una funzione obiettivo determinata in base alle finalità dell'ottimizzazione stessa;
- generazione dei file contenenti le istruzioni di controllo necessarie al programma generico di ottimizzazione GENOPT, inclusa la scelta dell'algoritmo di ricerca del valore minimo della funzione obiettivo precedentemente determinata;





- inizializzazione del ciclo di simulazioni dinamiche eseguite dal software TRNSYS e gestite dal programma GENOPT, il quale genera di volta in volta i file parametrici di input usati da TRNSYS come base delle simulazioni stesse;
- lettura e interpretazione dei risultati con seguente modifica del progetto al fine del conseguimento delle prestazioni ottimali cercate;
- importazione del modello modificato in TRNSYS e verifica del comportamento della soluzione ottenuta nei confronti dei requisiti prestazionali dell'edificio di progetto che esulano dal dominio della funzione obiettivo utilizzata in GENOPT;
- eventuale riadattamento finale del progetto secondo le osservazioni ricavate dal passo precedente.



*Fig.006 Modello tridimensionale dell'edificio di progetto, eseguito in SketchUp mediante il plug-in Trnsys3D, per l'importazione nell'ambiente di simulazione di Trnsys*

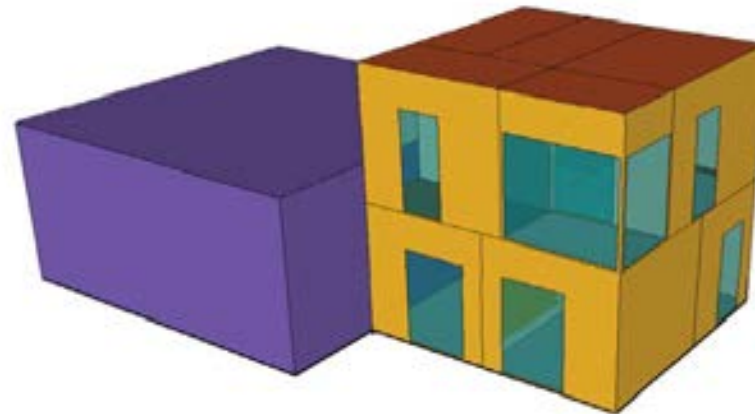
Per quanto riguarda l'implementazione del modello dell'edificio di progetto, in Trnsys sono computabili solamente volumi convessi.

Pertanto la simulazione dinamica dell'intero edificio, ripartito nelle numerose zone termiche richieste al fine di simulare correttamente il comportamento del progetto e nel rispetto dei vincoli geometrici imposti dal software, sarebbe eccessivamente onerosa nei confronti della potenza di calcolo disponibile nei personal computer attualmente disponibili sul mercato.

Questo comporterebbe tempi di attesa enormemente lunghi, incompatibili con le finalità del presente studio e con la portata dei risultati ottenuti.

Di conseguenza si limita l'analisi su una porzione significativa del progetto: in particolare, la tipologia residenziale duplex è assunta come rappresentativa del comportamento igrotermico dell'edificio:

- tale abitazione è disposta su due livelli, permettendo di rilevare la portata di disaccoppiamento termico fornito dalle partizioni orizzontali interne;
- è caratterizzata da superfici a contatto con l'esterno su tre lati, focalizzando le performance dell'involucro sulle prestazioni della chiusura verticale, che ne costituisce oltre il 50%;
- presenta una serra bioclimatica, dotazione fornita a molti degli appartamenti realizzati, consentendo di valutarne l'entità degli apporti gratuiti.



*Fig.007 Modello tridimensionale della sola residenza di tipo duplex, utilizzata nella simulazione dinamica del progetto*

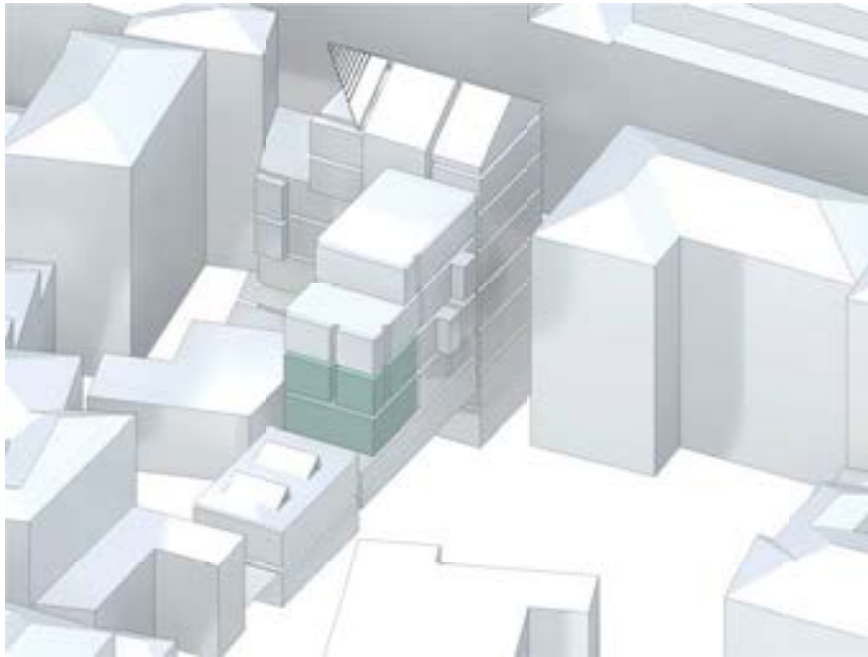


Fig.008 Collocazione della residenza duplex all'interno del volume di progetto



Come si evince, dall'immagine riportata la tipologia duplex in esame gode di esposizione solare verso sud, tuttavia presenta anche problematiche dovute all'adiacenza dell'edificio del lotto confinante che rende impossibile eseguire aperture sul lato ovest, anche solo per sfruttare una ventilazione naturale di tipo trasversale; di conseguenza gli affacci reali dell'appartamento avvengono sui lati est e sud.

La posizione, le limitazioni sull'accesso alla luce e il rapporto superficie volume rendono la residenza scelta, in buona approssimazione, rappresentativa del comportamento medio dell'intero fabbricato.

### 5.3.1 TRNSYS (TRANSIENT SYSTEM SIMULATION PROGRAM)

L'interfaccia principale del programma Trnsys 17, ultima versione del software sviluppato dal Solar Energy Laboratory dell'Università del Wisconsin, è costituita dal Simulation Studio.

È possibile importare il modello tridimensionale, oggetto di analisi, già preimpostato mediante l'interfaccia grafica del programma SketchUp, grazie al plug-in Trnsys3D.

Una volta aperto il file con estensione .idf che suddetto plug-in permette di creare si presenta la seguente schermata del Simulation Studio: si nota una struttura a moduli o componenti, connessi tra loro in una sorta di diagramma.

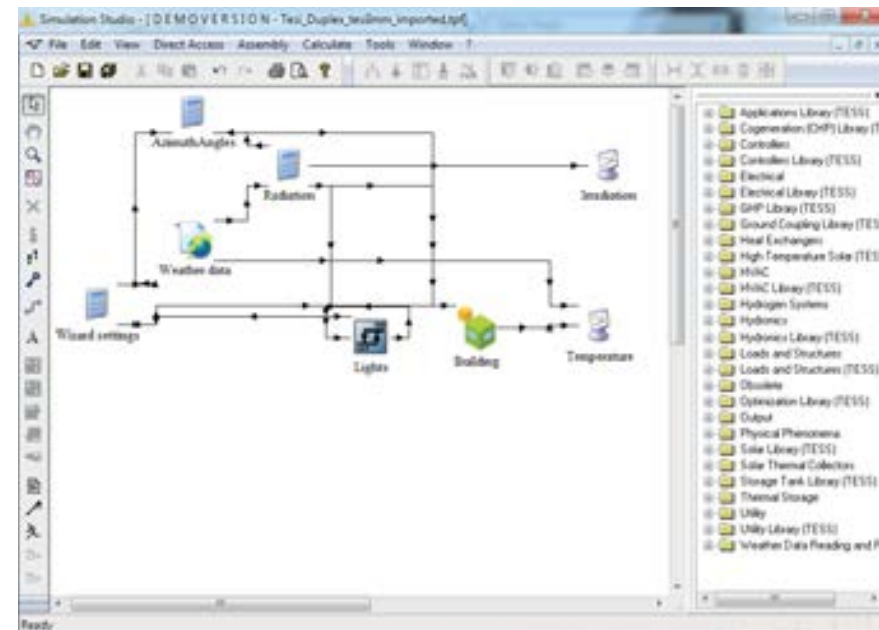


Fig.009 Schermata iniziale del Simulation Studio

L'utente ha la possibilità di disporre liberamente i componenti, modificandone le proprietà e le connessioni, ovviamente nel rispetto dei vincoli di compatibilità tra i componenti stessi.

Ogni componente è denominato Type e non è altro che la rappresentazione grafica di una serie di funzioni ed equazioni matematiche che descrivono un determinato fenomeno; le connessioni rappresentano quindi precedenze logiche tra le operazioni e veicolano le variabili e i dati del problema tra una sequenza di equazioni, Type, e la successiva, attraverso le quali le variabili vengono aggiornate fino a giungere al risultato richiesto.

È disponibile un'ampia libreria di funzioni e modelli matematici, nonché di elementi per la lettura dei dati di input e la scrittura dei risultati di output; tra questi sono descritti quelli effettivamente utilizzati nella simulazione, iniziando con i componenti riscontrabili nella schermata iniziale:

- Type 15-2 lettura dei file climatici;
- Type 2d è un controller differenziale generico;
- Type 65d è una stampante a monitor;
- Equation tool è un generico elemento in cui è possibile definire relazioni algebriche tra variabili di input e variabili di output al singolo blocco;
- Type 56 contiene il modello tridimensionale di un edificio multizona.



Questo componente ha lo scopo di leggere i dati ad intervalli di tempo regolari, da un file climatico esterno, interpolando i valori, tra cui quelli della radiazione solare su superfici inclinate, in caso di intervalli inferiori ad un'ora; esso rende disponibili suddetti valori agli altri componenti di Trnsys che ne fanno uso.

Il componente legge, in particolare, i seguenti formati di file climatici:

- Typical Meteorological Year TMY, con estensione .TMY
- Typical Meteorological Year Version 2 TMY2, con estensione .TM2

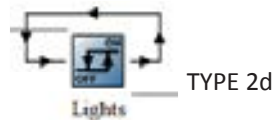
- Typical Meteorological Year Version 3 TMY3, con estensione .TMY3
- International Weather for Energy Calculations IWECC
- Canadian Weather for Energy Calculations CWEC
- Energy+, con estensione .EPW
- dati Meteoronorm per Trnsys, con estensione .TM2
- formati tedeschi del 2004 e del 2010, denominati TRY

Nella finestra variabili del Type 15-2, alla scheda External Files, è possibile collegare il file climatico relativo alla località oggetto di analisi, in particolare per questa simulazione è stato inserito il file contenente i dati climatici della stazione di Milano-Linate, la più vicina al lotto di progetto tra quelle a disposizione.

In conclusione questo Type fornisce all'interno della simulazione i valori della temperatura dell'aria esterna, l'umidità relativa, la radiazione solare diretta, diffusa e totale con relativo angolo di incidenza su superfici orizzontali e verticali.



Fig.010 Finestra variabili del Type 15-2, scheda External Files



Questo componente modella un controllo differenziale di tipo binario, con un output che può assumere valore 0 o 1.

Il segnale di controllo è determinato come funzione della differenza tra un valore di input superiore  $x_h$  e uno inferiore  $x_l$ ; la differenza è raffrontata a due valori di limite massimo  $Dx_h$  e di limite minimo  $Dx_l$ .

Il valore assunto dalla funzione di controllo dipende dal valore della stessa al passo precedente; infatti l'output del controller è in genere riconnesso come input, realizzando un effetto di isteresi.

	Name	Value	Unit	More	Macro
1	No. of oscillations	5	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	High limit cut-out	40000	any	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig.011 Finestra variabili del Type 2d, scheda Parameter

Per evitare problematiche associate all'instaurarsi di cicli infiniti di acceso/spento, nella scheda Parameter del Type è possibile impostare un limite al numero di oscillazioni, in modo che il segnale di controllo venga bloccato per consentire il proseguo dei calcoli; è preferibile impostare un valore dispari per evitare una parzializzazione dei risultati nel breve periodo.

Viene inserito anche un limite di cut-off, come parametro di sicurezza, che impone l'azzeramento della funzione di controllo in caso di superamento del limite, indipendentemente dalle condizioni dell'interruttore.

In particolare, qui il Type è utilizzato come regolatore opzionale dell'illuminazione artificiale in funzione dell'intensità della radiazione solare fornita in input dal file climatico.



Questo componente è utilizzato per il controllo a monitor dei valori assunti da un determinato set di variabili scelte, fino ad un massimo di 20, al progredire della simulazione.

Questa funzione risulta importante per una verifica grafica del comportamento del modello, permettendo di rilevare anomalie in relazione ai valori assunti dalle variabili selezionate, a condizione di conoscerne a priori almeno il comportamento di massima che dovrebbero assumere.

In particolare questo componente non genera alcun file di output.

	Name	Value	Unit	More	Macro
1	Nb. of left-axis variables	10	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Nb. of right-axis variables	10	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Left axis minimum	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Left axis maximum	3600	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Right axis minimum	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Right axis maximum	3600	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Number of plots per simulation	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	X-axis gridpoints	12	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig.012 Finestra variabili del Type 65d, scheda Parameter

Nella scheda Parameter si possono impostare le quantità di variabili visualizzabili, distinte tra due assi i cui range di valori possono essere modificati a piacimento, adattandoli ai domini delle variabili assegnate: un massimo di 10 per asse, per un totale di 20.

É possibile in ogni caso impegnare tante copie di questo Type quante ne sono necessarie per visualizzare le incognite che interessano.



Questo componente assume la funzione di calcolatrice, permettendo di impostare relazioni algebriche tra i parametri all'interno della simulazione; utile spesso per implementare domini di esistenza di certe variabili o conversioni di unità di misura.

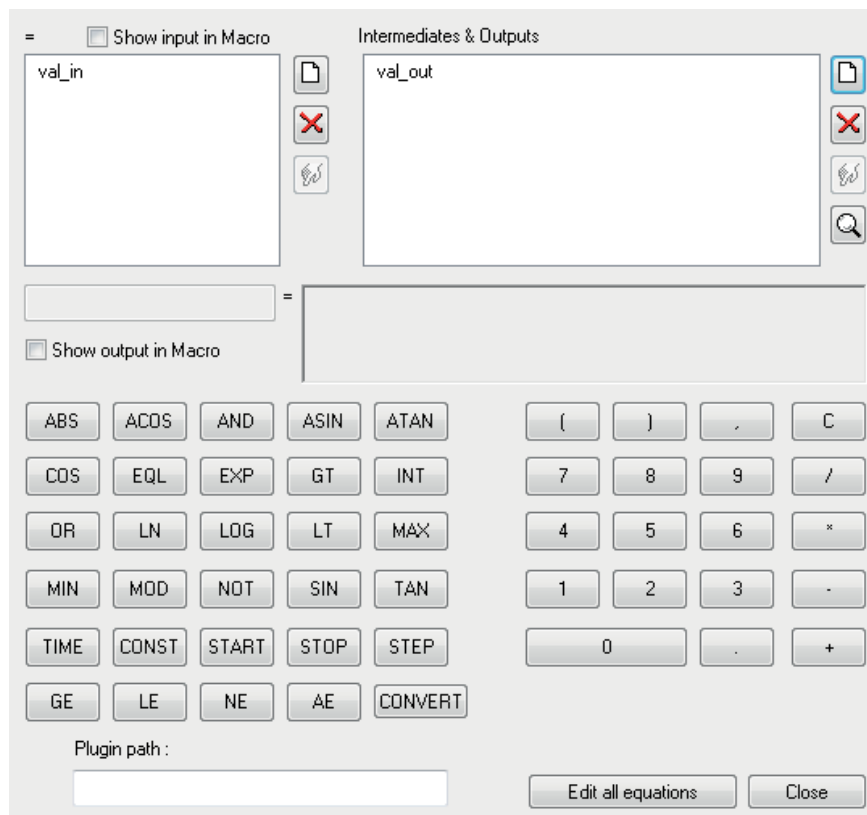


Fig.013 Finestra di impostazione delle equazioni del componente Equation Tool

Si riporta un elenco delle funzioni disponibili, nonché della loro sintassi:

- $AE(a, b, c)$  restituisce 1 se la differenza tra gli argomenti  $a$  e  $b$  è inferiore al valore di  $c$ , 0 altrimenti;
- $ABS(n)$  restituisce il valore assoluto dell'espressione di  $n$ ;
- $ACOS(n)$  restituisce l'arcocoseno, in gradi, dell'espressione di  $n$ ;
- $AND(a, b)$  restituisce il valore (vero = 1; falso = 0) dell'operazione Booleana applicata ai membri tra parentesi;
- $ASIN(n)$  restituisce l'arcoseno, in gradi, dell'espressione di  $n$ ;
- $ATAN(n)$  restituisce l'arcotangente, in gradi, dell'espressione di  $n$ ;
- $COS(n)$  restituisce il coseno dell'espressione di  $n$ , espresso in gradi;
- $EQL(a, b)$  restituisce 1 se il risultato dell'espressione  $a$  è uguale a quello dell'espressione  $b$ , 0 altrimenti;
- $EXP(n)$  calcola l'esponenziale  $e^n$ ;
- $GE(a, b)$  restituisce 1 se il valore della prima espressione è maggiore o uguale a quello della seconda espressione, 0 altrimenti;
- $GT(a, b)$  restituisce 1 se il valore della prima espressione è strettamente maggiore di quello della seconda espressione, 0 altrimenti;
- $INT(n)$  restituisce il valore intero dell'espressione troncando la parte reale. Per ottenere l'arrotondamento basta aggiungere 0.5 all'espressione di  $n$ ;
- $OR(a, b)$  restituisce il valore (vero = 1; falso = 0) dell'operazione Booleana applicata ai membri tra parentesi;
- $LN(n)$  restituisce il logaritmo naturale dell'espressione di  $n$ ;
- $LOG(n)$  restituisce il logaritmo in base 10 dell'espressione di  $n$ ;
- $LE(a, b)$  restituisce 1 se il valore della prima espressione è minore o uguale a quello della seconda espressione, 0 altrimenti;
- $LT(a, b)$  restituisce 1 se il valore della prima espressione è strettamente minore di quello della seconda espressione, 0 altrimenti;
- $MAX(a, b)$  restituisce come risultato il maggiore tra i due argomenti;
- $MIN(a, b)$  restituisce come risultato il minore tra i due argomenti;
- $MOD(a, b)$  restituisce il modulo, cioè il resto della divisione  $a/b$ ;
- $NE(a, b)$  restituisce 1 se il risultato dell'espressione  $a$  è diverso da quello dell'espressione  $b$ , 0 altrimenti;
- $NOT(n)$  restituisce il valore (vero = 1; falso = 0) dell'operazione Booleana



- applicata al membro tra parentesi;
- SIN(n) restituisce il seno dell'espressione di n, espresso in gradi;
- TAN(n) restituisce la tangente dell'espressione di n, espresso in gradi.

Inoltre sono disponibili dei termini speciali all'interno della simulazione:

- CONST definisce una costante;
- TIME restituisce il valore corrente della variabile tempo, che contiene il valore numerico del passo della simulazione al momento in cui la funzione è interpellata.

Queste funzioni permettono di introdurre all'interno della simulazione una varietà molto ampia di relazioni nella definizione del modello, senza dover ricorrere al linguaggio di programmazione per definire componenti appositi.



Il Type 56 è il componente principale nella simulazione dinamica di un edificio composto da una o più zone termiche; esso riceve i dati climatici e numerosi altri input opportunamente personalizzabili, per poi calcolare il fabbisogno energetico e le condizioni igrotermiche interne dell'edificio modellato.

Le informazioni geometriche e materiche del modello sono contenute in un file separato con estensione .b17, che viene specificato nella scheda External Files della finestra variabili.

La modifica di tale modello geometrico avviene accedendo ad una interfaccia specifica, denominata TRNBuild.

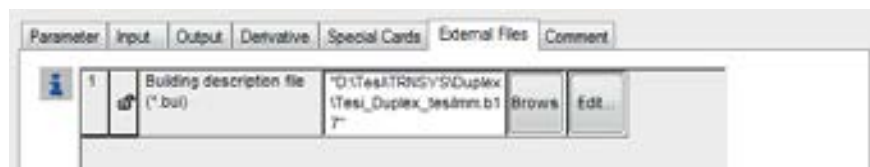


Fig.014 Finestra variabili del Type 56, scheda External Files

### 5.3.2 TRNBUILD

Dal Type 56, nel Simulation Studio, è possibile accedere all'interfaccia per la modifica delle caratteristiche geometriche e fisiche del modello rappresentativo del progetto, mediante il comando Edit Building.

Alla fine dell'utilizzo TrnBuild genera un file contenente le informazioni e le matrici rappresentative del comportamento igrotermico del modello, con specificati gli input e gli output generati dal Type 56.

Questo file è importante ai fini del processo di ottimizzazione che coinvolge il programma GenOpt e che viene dettagliato in seguito.

All'apertura dell'interfaccia TrnBuild sono immediatamente disponibili due finestre.

La prima è la finestra Project, nella quale l'utente può introdurre e modificare le informazioni generali sul progetto, definire gli orientamenti degli elementi tecnici che lo compongono, definire alcune proprietà fisiche e coefficienti dell'aria, peraltro già settati secondo valori standard, visualizzare e modificare gli input e gli output per il Type 56;

La seconda è la finestra del TrnBuild Navigator, che riporta le funzioni base della finestra Project, oltre alle informazioni che descrivono le zone termiche in cui il modello è suddiviso, che in dettaglio sono:

- i dati di regime, comprendenti la ventilazione, la climatizzazione, i guadagni interni e gli standard per il comfort;
- i dati sulle superfici che racchiudono il nodo, distinte tra opache e trasparenti, quest'ultime assegnate come sottoclasse alle superfici opache di appartenenza.

Le specifiche dei suddetti elementi possono essere gestite mediante gli omonimi pulsanti presenti sulla barra superiore dell'interfaccia, configurando i parametri di funzionamento di progetto per poi assegnarli alle singole zone termiche, in base al tipo di locale ed ai relativi requisiti che ciascun nodo del modello rappresenta.

Di seguito si riporta la schermata dell'interfaccia TrnBuild; i pulsanti nella barra superiore permettono di definire, nell'ordine da sinistra verso destra: la composizione degli elementi tecnici che costituiscono il modello; i dati fisici dei materiali che compongono gli elementi tecnici; le tipologie di infissi, caricate da

una libreria esterna generata dal software WINDOW del Lawrence Berkeley Laboratory; le infiltrazioni d'aria o ventilazione naturale; le ventilazioni meccaniche; i sistemi di riscaldamento; i sistemi di raffreddamento; i guadagni interni; le definizioni per le valutazioni del comfort e gli schedules di progetto,

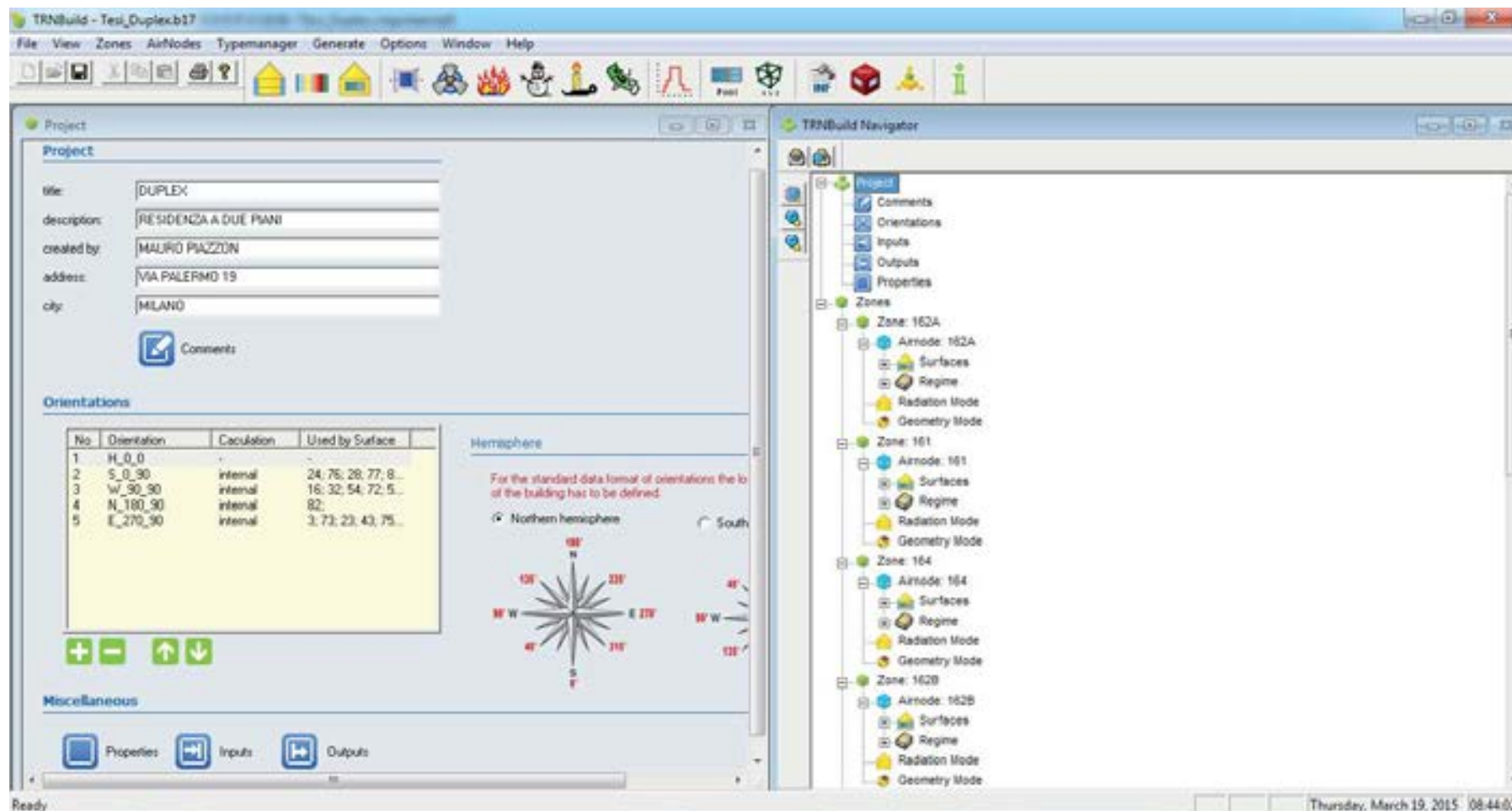


Fig.015 Finestra dell'interfaccia di TrnBuild

distinti in giornalieri e settimanali. Gli ultimi sei pulsanti contengono funzioni particolari che non interessano la definizione del funzionamento del modello e pertanto non sono utilizzati.

La prima cosa da stabilire nella modellazione dell'edificio di progetto riguarda i periodi di funzionamento degli impianti, delle ventilazioni e dell'occupazione dei locali, ovvero di carichi e guadagni interni.

Come già enunciato si possono definire due tipi di schedules, giornalieri e settimanali, quest'ultimi come ripetizione di schedules giornalieri precedentemente definiti e assegnati a particolari giorni della settimana.



Fig.016 Gestione e definizione di schedules giornalieri

Nell'immagine precedente si nota come sono definiti gli schedules giornalieri, suddivisi in fasce orarie: possono assumere funzione di interruttore binario ma anche assumere valori numerici generici, a seconda dell'utilizzo desiderato.

Di seguito si riporta l'impostazione tipo di uno schedule settimanale; per definire schedules con periodicità differenti, come mensile o stagionale, è necessario assegnare lo schedule desiderato come output del Type 56 e fornire ulteriori limitazioni temporali tramite relazioni algebriche in ambito del Simulation Studio; va aggiunto in TrnBuild un ulteriore input che riceve in ingresso lo schedule ridefinito nel Simulation Studio, tale input è poi utilizzabile nelle funzioni di controllo interne al TrnBuild in alternativa ai normali schedules.

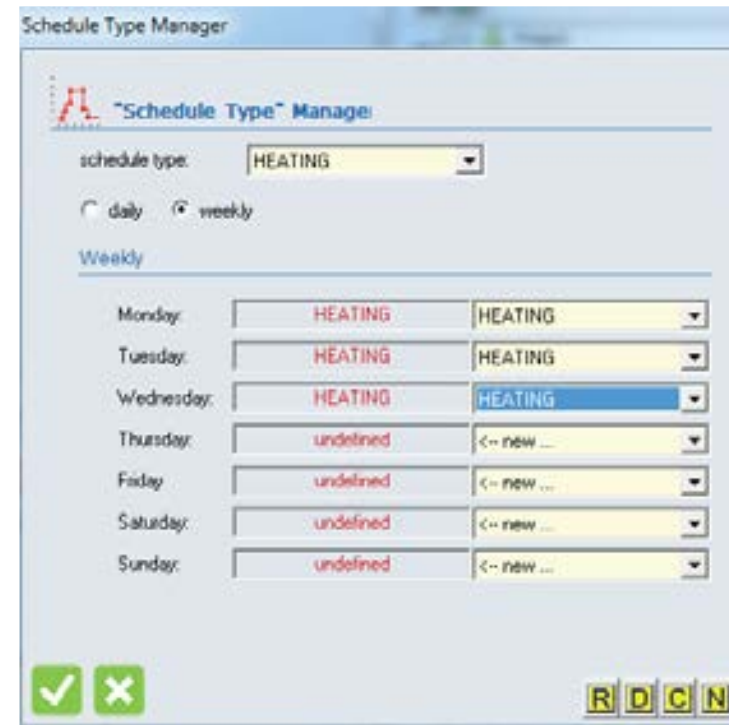


Fig.017 Gestione e definizione di schedules settimanali

Come esposto in precedenza, tramite il pulsante Inputs della finestra Project sono modificabili gli input disponibili per il Type 56; in particolare è possibile aggiungerne di nuovi, come ad esempio controlli di funzionamento di impianti o temperature di mandata di sistemi di ventilazione definiti nel Simulation Studio.

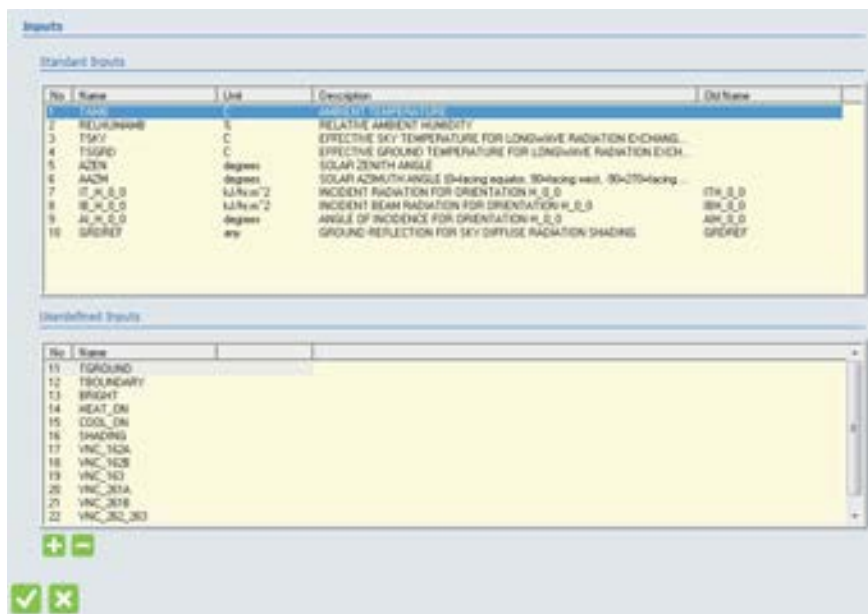


Fig.018 Finestra di impostazione degli input in TrnBuild

Tramite il pulsante Outputs, invece, si accede alla schermata di definizione degli output del modello rappresentato dal Type 56; i possibili parametri generati in uscita al modello sono chiaramente elencati ed esplicitati nel manuale del programma.

Si pone particolare attenzione in questo ambito al valore di "Timebase" presente nella finestra: esso rappresenta l'unità temporale delle funzioni di trasferimento generate dal programma in rappresentanza del comportamento fisico del modello e di default il valore è posto unitario, tuttavia in caso di elementi tecnici dalle elevate prestazioni di sfasamento termico è necessario aumentare tale valore.

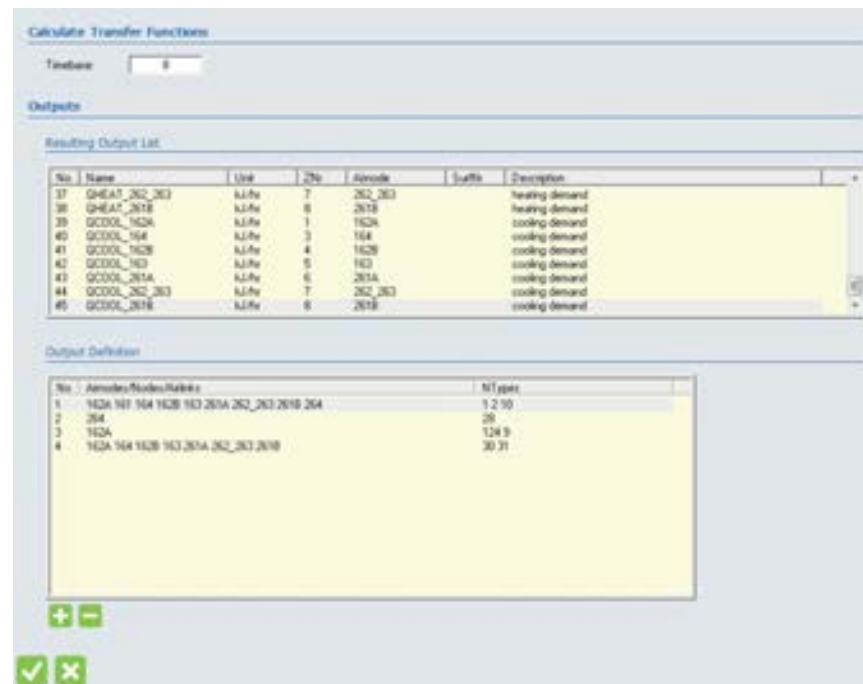


Fig.019 Finestra di impostazione degli output in TrnBuild

A parte i valori degli schedules che si intende usare, gran parte degli input e degli output del modello sono impostati nelle fasi finali di definizione del modello stesso.

I primi parametri da definire riguardano le chiusure e le partizioni, opache e trasparenti, che costituiscono il modello: infatti dopo aver importato le geometrie generate tramite il software SketchUp, le tipologie di elementi tecnici del modello sono quelle assegnate di default dal programma Trnsys in base alle funzioni ed alle condizioni al contorno di suddetti elementi stabilite in ambito di SketchUp, e che difficilmente rispondono ai requisiti di progetto.

Il primo passo nella definizione degli elementi tecnici è l'inserimento dei dati fisici dei materiali utilizzati nel progetto.



Nella definizione degli strati degli elementi tecnici sono disponibili quattro possibilità:

- massive, per i materiali più comuni;
- massless, in caso la massa dello strato sia molto bassa e trascurabile o nel caso la componente di massa di un layer causi problemi al programma nel calcolo delle matrici di trasferimento;
- active, nella definizione di sistemi capillari di riscaldamento o raffreddamento, tale tipologia è accessibile solo all'interno della definizione di un elemento tecnico e non è implementabile come layer a sè stante;
- chilled ceiling, come il caso precedente, con la particolarità di poter essere usato solo in posizione superficiale per l'elemento tecnico interessato.

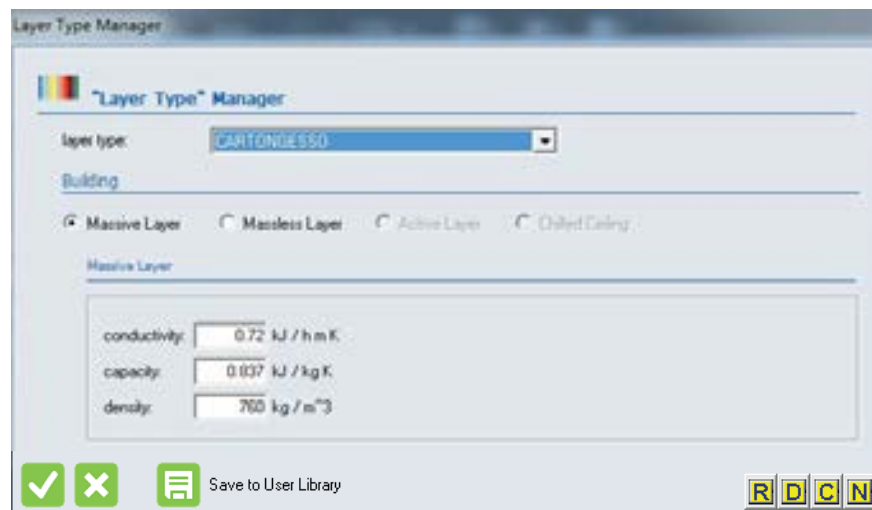


Fig.020 Finestra di impostazione dei layer in TrnBuild



## WALL TYPE MANAGER

Una volta introdotti nel programma i materiali di progetto, si possono definire facilmente le strutture degli elementi tecnici:

- assegnando un nome opportuno;
- specificando gli strati a partire dal fronte interno, front, fino al lato esterno, back;
- è possibile richiamare la finestra del Layer Type Manager in caso si debba definire un materiale mancante, quindi si assegnano i materiali specificandone lo spessore;
- successivamente si specifica il fattore di assorbimento luminoso delle superfici esterne, nonché i coefficienti di scambio termico per convezione.

Questi ultimi possono essere calcolati dal programma o definiti dall'utente, in genere i valori standard sono pari a:

- 11 kJ/hm<sup>2</sup>K per lo strato laminare interno;
- 64 kJ/hm<sup>2</sup>K per lo strato laminare esterno.

Come accennato in precedenza solo tramite la selezione del Layer Type Manager dall'interno di questa finestra è possibile specificare una tipologia di Active Layer.



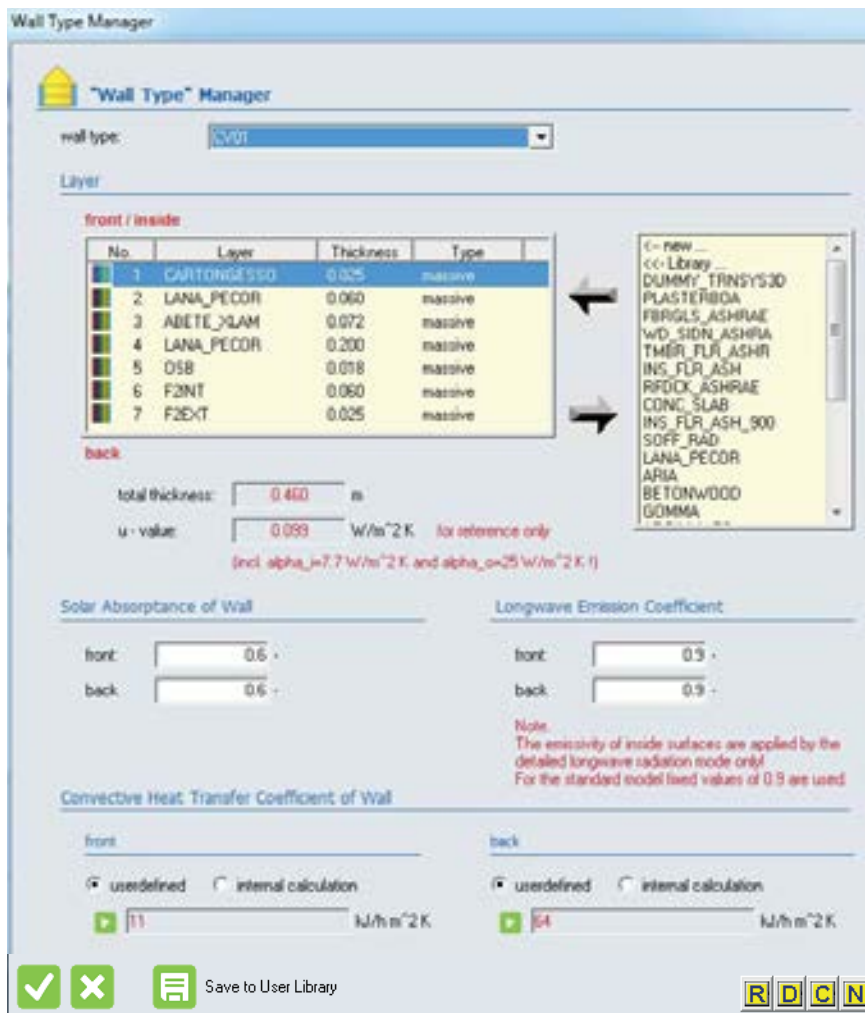


Fig.021 Finestra di impostazione degli elementi tecnici in TrnBuild



## WINDOW TYPE MANAGER

Infine, per quanto riguarda la struttura del modello, sono definiti gli infissi: a differenza degli elementi opachi, le proprietà dei vetri non possono essere completamente personalizzate in TrnBuild; le librerie del programma contengono una grande varietà di vetrazioni che coprono una vasta gamma prestazionale, in caso di necessità particolari occorre generare delle librerie alternative mediante il software WINDOW del Lawrence Berkeley Laboratory.

Le caratteristiche degli elementi disponibili di default nel programma non si discostano in modo significativo dalle scelte di progetto, pertanto sono usati quelli che più si avvicinano alle prestazioni richieste senza l'ulteriore introduzione di nuovi.

In particolare, si nota che i valori di trasmittanza termica e di guadagno solare, riportati di lato all'ID del vetro scelto, sono riportati solo come riferimento: tali grandezze sono calcolate internamente al Type 56 e sono contenute in forma matriciale in funzione della temperatura esterna, dell'irradianza solare, della velocità del vento e di coefficienti laminari.

Questo fatto è molto importante per la successiva fase di ottimizzazione, **non è possibile assumere come parametri in Genopt la trasmittanza termica e il fattore solare delle vetrazioni**; tuttavia, a partire dalle ultime versioni di Trnsys, i dati sulle tipologie di vetri adottate nel modello sono interamente salvate all'interno del file descrittivo generato da TrnBuild: in questo modo, assegnando differenti tipologie di vetri all'interno del modello è possibile eseguire l'ottimizzazione anche in funzione delle caratteristiche degli elementi trasparenti, come esposto successivamente nel paragrafo relativo al software Genopt.

Dopo aver inserito il vetro desiderato, è possibile specificare l'inclinazione dello stesso, oltre alla percentuale di area occupata dal telaio ed alla trasmittanza dello stesso; si evidenzia che l'unità di misura di quest'ultima è espressa un  $\text{kJ}/\text{h m}^2\text{K}$ , perciò il valore in  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  a disposizione è corretto secondo un fattore pari a 3,6.

è inoltre possibile scegliere il tipo di distanziatore utilizzato negli infissi tra cinque tipologie predefinite e riportate in tabella.

Tab.005 Tipologie di distanziatori disponibili in TrnBuild

ID	TIPOLOGIA	1° COEFFICIENTE	2° COEFFICIENTE	3° COEFFICIENTE
0	Dati da libreria	-	-	-
1	Alluminio	2,33	-0,01	0,138
2	Acciaio inox	1,03	0,76	0,0085
3	Butile/Metallo	0,82	0,80	0,0022
4	Isolato	0,35	0,83	0,018
5	Assente	-	-	-

Sono modellabili anche dispositivi di oscuramento interni, con regolazione parametrizzabile.

Infine si inseriscono i coefficienti di scambio termico per convezione che, in analogia a quelli per gli elementi opachi possono essere calcolati internamente al programma, oppure per semplicità, assumere i seguenti valori:

- 11 kJ/hm<sup>2</sup>K per lo strato laminare interno;
- 64 kJ/hm<sup>2</sup>K per lo strato laminare esterno.

In particolare, nel caso dei vetri, mentre all'esterno il coefficiente di scambio termico è dominato dall'azione convettiva dovuta al vento, all'interno la temperatura superficiale del vetro varia molto in funzione delle condizioni del locale e può risultare più significativo un calcolo parametrico apposito svolto dal programma.



Fig.022 Finestra di impostazione degli infissi in TrnBuild

In seguito ai parametri geometrici e materici del modello, sono definite le grandezze variabili del sistema.



#### INFILTRATION TYPE MANAGER

Per le zone termiche il ricambio d'aria con l'esterno è definito nella finestra Infiltration Type Manager; questo parametro può essere definito come costante nel tempo, dipendente da un controllo di input o da uno schedule.

Nel progetto sono previsti infissi ad elevate prestazioni, pertanto il termine costante potrebbe essere ridotto a 0,05 vol/h, tuttavia ai fini delle valutazioni sui consumi energetici si allinea il valore a 0,3 vol/h come richiesto dalla norma UNI 11300-1 in caso di assenza di ventilazione meccanica.

Al termine costante si somma un altro termine supposto pari a 2,5 vol/h, corrispondente ad un ricambio d'aria per solo differenziale di temperatura tra interno ed esterno; si tratta della modellazione matematica dell'apertura delle finestre, secondo un sistema di Ventilazione Naturale Controllata.

Tale valore è verificato mediante il metodo semplificato NORMA alla fine della simulazione, dove si riscontra l'effettiva possibilità che un tale volume di ricambio d'aria si possa effettivamente instaurare senza l'ausilio di componenti meccaniche.

Il parametro di input della formula è un valore binario che esprime l'apertura, quando pari a 1, o la chiusura, quando pari a 0, degli infissi per la determinata zona termica.

Esso è determinato nel Simulation Studio mediante l'impiego di un controller differenziale che utilizza come variabile di controllo il differenziale tra la temperatura esterna e quella interna, come è esposto più avanti in relazione al Type 2b.



Fig.023 Finestra di impostazione delle infiltrazioni in TrnBuild

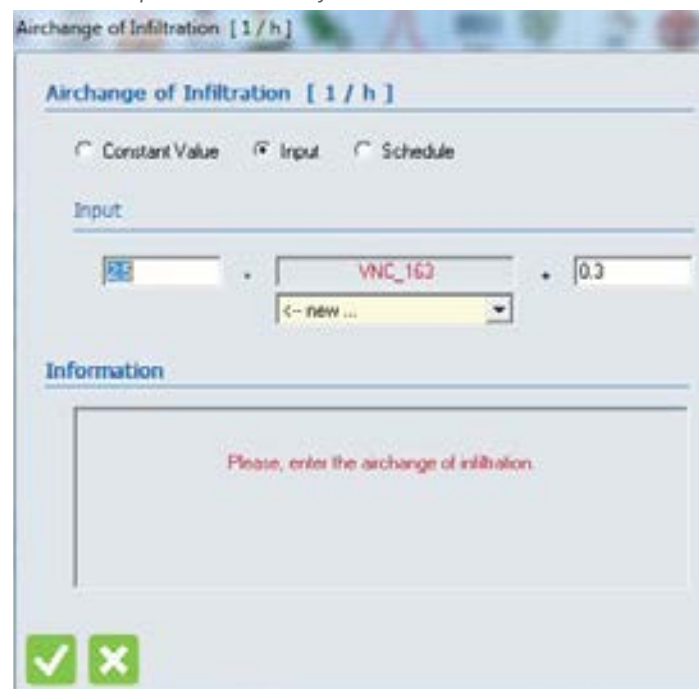


Fig.024 Finestra di impostazione delle infiltrazioni in TrnBuild, dettaglio



## VENTILATION TYPE MANAGER

Relativamente alla ventilazione meccanica si possono impostare: il tasso di ricambi d'aria, la temperatura e il tasso di umidità dell'aria in ingresso. Per l'ambiente senza finestre si impone un ricambio d'aria di 0,5 vol/h nel periodo di utilizzo, l'aria è quella esterna nell'ipotesi iniziale di ventilazione naturale.

Ventilation Type Manager

"Ventilation Type" Manager

ventilation type: VENT\_BAGNO1

AirFlow

air change rate  mass flow rate

S: 0.5\*VENT\_BAGNO 1/h

Temperature of Air Flow

outside  other

Humidity of Air Flow

relative humidity  absolute humidity

outside  other

✓ ✗ R D C N

Fig.025 Finestra di impostazione delle ventilazioni meccaniche in TrnBuild



## HEATING TYPE MANAGER

La modalità di funzionamento del riscaldamento è specificata in seguito; in generale è mantenuta una temperatura minima di 15°C all'interno, indipendentemente dall'utilizzo dell'edificio, e nei periodi di accensione si richiede una temperatura di 20°C; ai fini del calcolo del fabbisogno termico la potenza dell'impianto è lasciata illimitata, inizialmente non è previsto un controllo dell'umidità.

Heating Type Manager

"Heating Type" Manager

heating type: HEAT001

Room Temperature Control

set temperature: S: 5\*HEAT\_ON+15 °C

Heating Power

unlimited  limited

relative part: 0 % / 100

Humidification

off  on

✓ ✗ R D C N

Fig.026 Finestra di impostazione del riscaldamento in TrnBuild



## COOLING TYPE MANAGER

Come per il riscaldamento, la modalità di funzionamento del raffrescamento è specificata in seguito; in generale non sono tollerate temperature superiori ai 40°C, quando l'impianto è in funzione viene mantenuta una temperatura di 26°C; ai fini del calcolo del fabbisogno termico la potenza dell'impianto è lasciata anche in questo caso illimitata ed inizialmente non è previsto un controllo dell'umidità, non essendo previsto un sistema meccanico di trattamento dell'aria.



Fig.027 Finestra di impostazione del raffrescamento in TrnBuild



## GAINS

Questo parametro è impostato all'interno di ogni singola zona termica e consente di definire i guadagni/carichi interni secondo tipologie predefinite:

- presenza di persone, con differenti tassi metabolici a seconda dell'attività svolta, come specificato nella norma UNI EN ISO 7730;
- presenza di computer, con diverse tipologie di consumi già preimpostate;
- illuminazione artificiale, permette di inserire gli apporti termici delle fonti di luce elettrica;
- sono importabili altri tipi di guadagni interni delle impostazioni personalizzate, caricabili da libreria se già definiti in precedenza.

Anche in questo caso i valori possono essere governati da uno schedule o da un'input, successivamente sono delineate le fasce di occupazione degli ambienti impostate nel modello di studio.

In particolare, supponendo l'impiego di illuminazione artificiale ad alta efficienza energetica, si è scelto di non prevedere guadagni termici per illuminazione, rinunciando a guadagni invernali, a favore di un fabbisogno energetico più attendibile, essendo calcolato riducendo gli apporti gratuiti.

Nella stagione estiva in ogni caso le ore di accensione dell'illuminazione artificiale sono pochissime, pertanto non vengono significativamente sottostimati i carichi termici interni.



## COMFORT

Le impostazioni di questa scheda, anch'essa specifica per le singole zone termiche, permettono di ottenere l'output del Type 56 relativo ai valori di comfort igrotermico secondo la classificazione di Fanger: validi in regime stazionario di climatizzazione meccanica; nell'ambito di comfort adattivo non vengono considerati, se non per il modello finale ai fini di un confronto delle prestazioni.



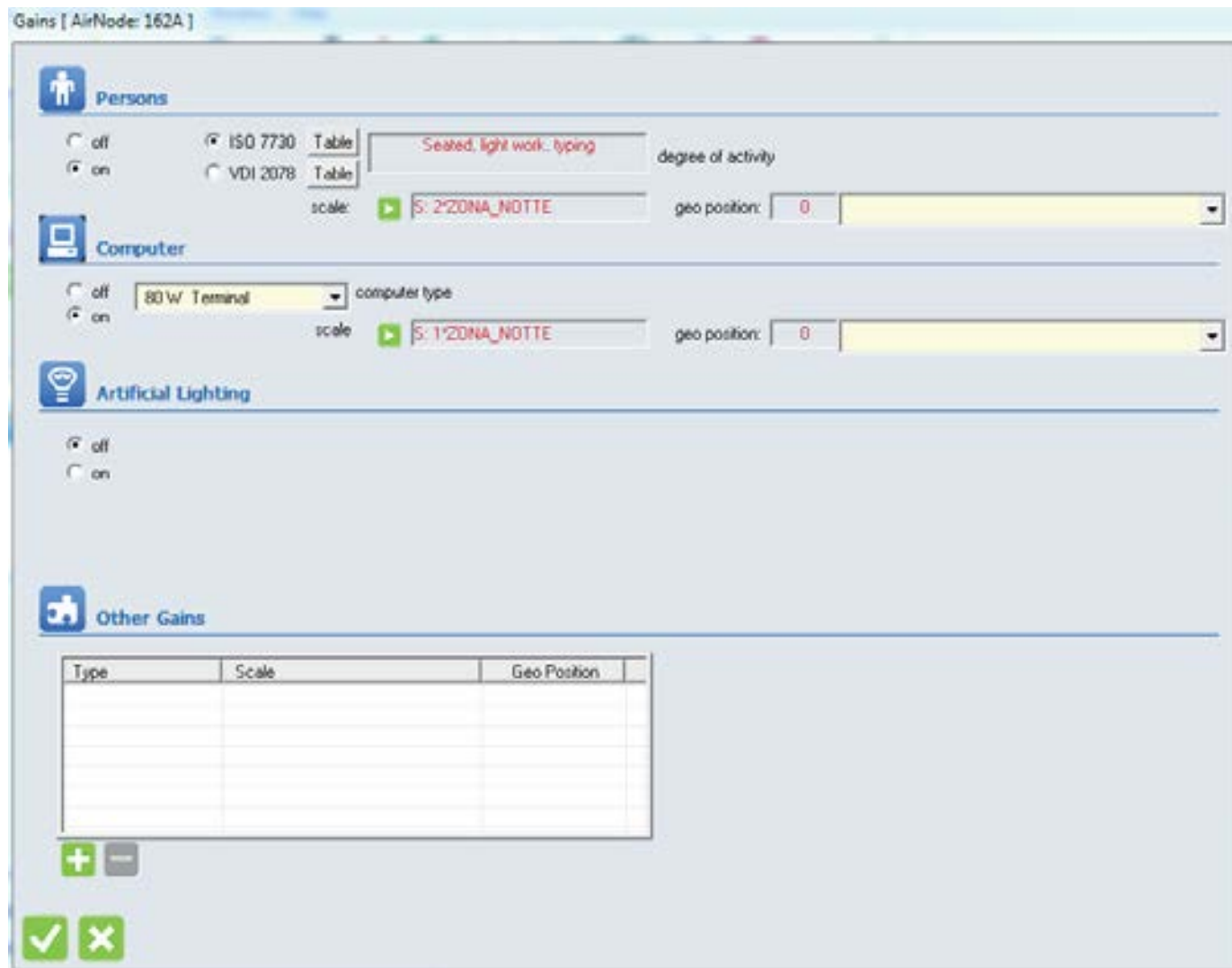


Fig.028 Finestra di impostazione dei carichi interni in TrnBuild



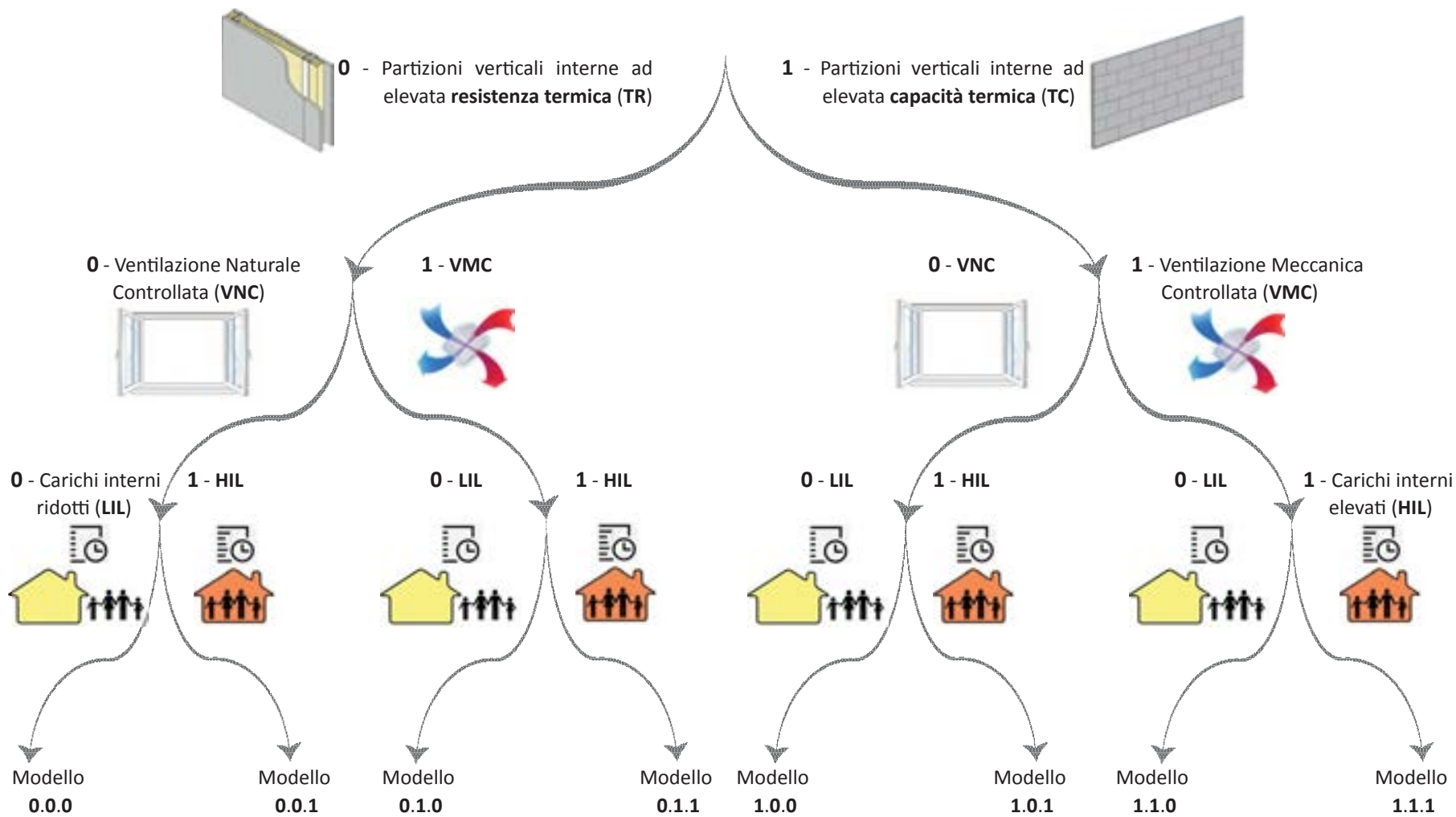


Fig.029 Schema di riepilogo degli 8 modelli alla base dell'ottimizzazione

## I CLASSE DI STUDIO

L'implementazione in Trnsys della prima alternativa enunciata è eseguita banalmente in Trnbuild, sostituendo l'elemento tecnico assegnato alle partizioni verticali interne con la variante proposta.

In particolare, nel caso di partizioni caratterizzate dalla resistenza termica sono utilizzate le P.V.I.01 illustrate nel Capitolo 4; mentre nel caso di partizioni connotate dalla capacità termica sono state ipotizzate delle pareti in blocchi di calcestruzzo cellulare con densità pari a  $550 \text{ kg/m}^3$ , per un peso della partizione di  $3,05 \text{ kN/m}$  contro i  $1,63 \text{ kN/m}$  delle pareti isolate.

Le capacità termiche areiche variano da  $37 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  per la partizione isolata a  $103 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  nel caso del divisorio in calcestruzzo; le suddette partizioni sono interne all'unità immobiliare, per gli elementi di parete tra diverse residenze permane la soluzione ad elevate prestazioni termiche e acustiche.

## II CLASSE DI STUDIO

La variazione del sistema di ventilazione richiede un'analisi particolare: infatti l'implementazione delle alternative richiede una diversa configurazione dei file Trnsys nell'ambito del Simulation Studio.

Per il caso della Ventilazione Naturale Controllata, si simula un sistema di apertura delle finestre automatizzato in funzione del differenziale di temperatura dell'aria tra interno ed esterno; poichè ogni locale ha un proprio andamento della temperatura interna, sono definiti altrettanti controller, utilizzando il componente Type 2b.

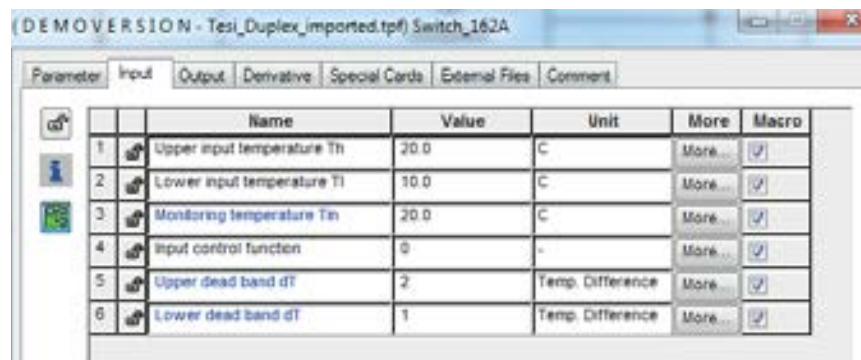
Tale componente presenta lo stesso funzionamento del Type 2d esposto in precedenza, dove l'utilizzo è limitato al controllo delle temperature.

Di seguito è riportata la tipica configurazione del componente Type2b; esso è in pratica un ciclo di isteresi ON/OFF definito nel modo seguente:

- come lower input temperature viene inserita la temperatura dell'aria

esterna, in quanto la ventilazione è prevista funzionale al raffrescamento, se la temperatura esterna è superiore a quella interna non ha senso ventilare secondo questo approccio;

- di conseguenza come upper input temperature viene data la temperatura dell'aria interna, secondo una funzione di controllo definita in seguito;
- l'input control function è dato dal valore precedentemente ottenuto come output, questo garantisce la memoria del ciclo di isteresi, ovvero quale percorso di output rispettare in funzione dello stato precedentemente assunto;
- l'upper dead band rappresenta il valore di SET-ON del sistema, ovvero quando la differenza tra la temperatura interna e quella esterna è sufficientemente alta per garantire un adeguato raffrescamento, in questo caso posta a  $2^\circ\text{C}$ , differenza sufficiente ad instaurare un'adeguata portata di ventilazione naturale nei confronti del tasso di ricambio impostato nella simulazione;
- il lower dead band, di contro, rappresenta il valore di SET-OFF ed è posto pari a  $1^\circ\text{C}$ , in quanto si ritiene che al diminuire della differenza tra le temperature interna ed esterna la portata del raffrescamento diminuisca sensibilmente fino ad instaurare quasi un regime di riscaldamento, dalle prove effettuate è emerso che un tale valore permette di sfruttare al massimo la portata di raffrescamento dell'aria esterna prima che gli apporti della radiazione solare diventino predominanti.



Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment

	Name	Value	Unit	More	Macro
1	Upper input temperature T <sub>h</sub>	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Lower input temperature T <sub>l</sub>	10.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Monitoring temperature T <sub>in</sub>	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Input control function	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Upper dead band dT	2	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Lower dead band dT	1	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig.030 Finestra di impostazione dei controller Type 2b

All'interno della "calcolatrice" denominata VNC sono contenute le funzioni di controllo dei valori della temperatura interna ricevuti dai Type 2b denominati Switch; l'equazione, una specifica per ogni locale, è del tipo  $T_{air\_162A} > (T_{air\_162A,23}) * I_e(T_{amb,27}) - 100 * I_e(T_{air\_162A,23})$

In pratica lo Switch riceve il valore reale della temperatura interna se questa è superiore al limite inferiore del comfort e al tempo stesso quella esterna è inferiore al limite superiore, ovvero è dotata di effettivo potenziale per il raffrescamento; in caso contrario lo Switch riceve un valore che assicura il SET-OFF del sistema.

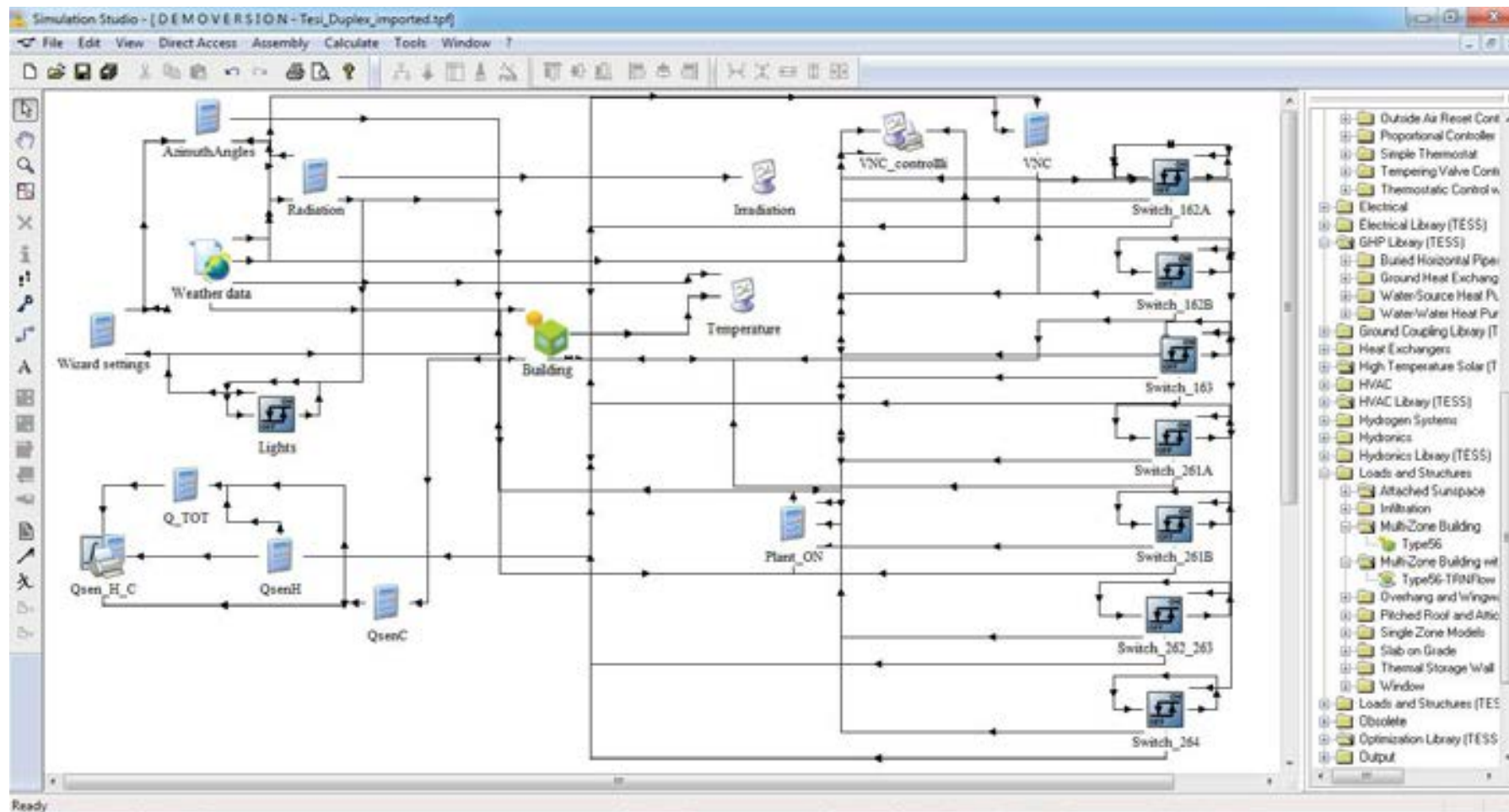


Fig.031 Schermata del Simulation Studio nel caso di VNC



Oltre a quelli già esposti, si può notare l'introduzione di altri componenti rispetto alla versione base del file descritta a inizio capitolo.

L'equation tool denominato Plant\_ON riceve gli schedules giornalieri di attivazione degli impianti dal Type 56 e restituisce come input al modello dell'edificio la limitazione stagionale del funzionamento degli impianti stessi; in particolare:

- la relazione  $HEAT_{on} = heating * (le(TIME,2496) + ge(TIME,6889))$  esprime la limitazione del funzionamento del riscaldamento tra il 15 ottobre ed il 15 aprile, come espresso dal DPR n. 74 del 16 aprile 2013;
- la relazione  $COOL_{on} = cooling * ge(TIME,3625) * le(TIME,6192) * eq1(switch_{162A},0) * eq1(switch_{162B},0) * eq1(switch_{163},0) * eq1(switch_{261A},0) * eq1(switch_{261B},0) * eq1(switch_{262\_263},0)$  rappresenta la limitazione del funzionamento dell'impianto di raffrescamento al periodo estivo, con la particolare verifica dell'effettiva chiusura di tutti gli infissi; non ha senso infatti che l'impianto di raffrescamento sia acceso quando si stanno ventilando naturalmente gli ambienti interni.



Il Type 65c è un componente dal funzionamento analogo al Type 65d, precedentemente esposto, con l'ulteriore funzione di salvataggio su file, con estensione .plt, delle variabili date in ingresso al componente stesso. Il nome del file salvato può essere specificato nella scheda External Files della finestra di impostazione del Type; all'interno di tale file sono salvati i valori assunti della variabili ad ogni timestep della simulazione, con notazione esponenziale e senza la specificazione delle unità di misura, pertanto è opportuno assegnare dei nomi significativi a suddette variabili.



Infine il Type 28b, come intuibile dal simbolo, è una stampante su file con funzione di integratore. Sono assegnabili diverse operazioni aritmetiche da eseguire sui valori integrati; in particolare il massimo numero di input che il componente può gestire è posto pari a dieci, in caso di necessità si devono usare duplicati del componente stesso.

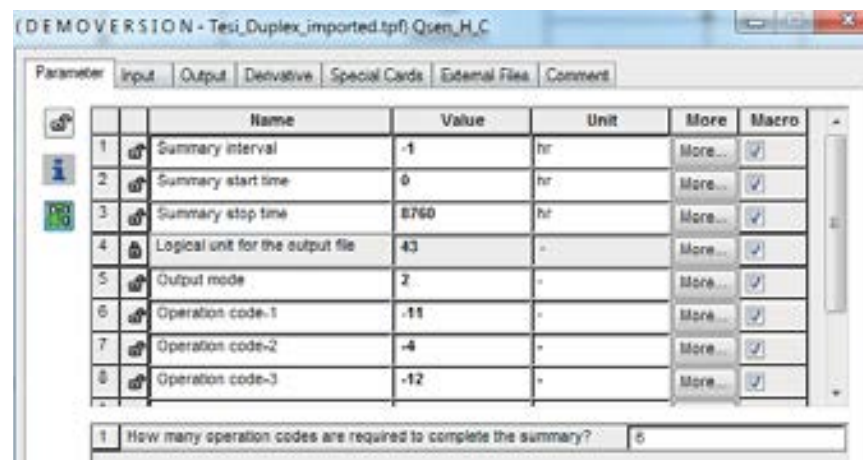


Fig.032 Finestra di impostazione del componente Type 28b, scheda Parameter

I primi valori della scheda Parameter del Type 28b consentono di specificare l'intervallo di integrazione, con il tempo di inizio e di fine, e la modalità di output.

Sono disponibili due modalità di output: la prima produce un'unica tabella per tutta la simulazione, valore 1; la seconda, valore 2, imposta una nuova tabella ogni qualvolta sono raggiunti 12 intervalli di integrazione, corrispondenti ai 12 mesi dell'anno.

In particolare sommando 10 alla modalità si output si impone che il type 28b non sovrascriva il file di output ma lo continui solamente, conservando i risultati delle simulazioni precedenti.

I valori a partire dal sesto indicano operazioni da eseguire sugli input una volta che il loro valore è stato integrato dal componente; in generale servono almeno 2 operation code per ogni input del Type, tale numero è specificato nella riga in basso alla scheda.

Sono disponibili numerose operazioni, di seguito si spiega il significato relativamente alle codifiche utilizzate.

Innanzitutto deve essere selezionato l'input su cui è eseguita l'operazione, questo avviene utilizzando i codici nell'intervallo [-11; -20], dove -11 indica il primo input, -12 il secondo e così via fino a -20; si ricorda che il massimo numero di input gestiti dal componente è 10.

A seguire di ogni input è stato impostato il comando -4, secondo il quale il valore relativo all'operazione precedente è posto come prossimo output ed è successivamente rimosso dalla pila delle operazioni.

Questo componente è stato utilizzato per salvare su file il fabbisogno energetico per riscaldamento, raffrescamento e totale; pertanto non sono state utilizzate altre operazioni.

Per facilitare la lettura del file di output, caratterizzato dall'estensione .sum e specificabile alla scheda External Files, è utile assegnare delle etichette agli output del componente tramite la scheda Special Cards: alla prima riga si specifica il numero di output/etichette da inserire, alla seconda riga si scrivono le etichette separate tra loro dal carattere di spaziatura; pertanto la presenza di uno spazio all'interno dell'etichetta porta il programma a riconoscere due etichette distinte.



Fig.033 Finestra di impostazione del componente Type 28b, scheda Special Cards

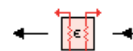
Si osserva che i valori dell'energia forniti dal Type 56 sono espressi in kJ/h e sono convertiti in kW dividendoli per 3600 in apposite equazioni poste a monte del Type 28b.

In conclusione si deve prestare attenzione agli output del Type 56: l'energia termica posta in output di default è dotata di segno, se viene passata al type 28b senza essere posta in valore assoluto si ottengono fabbisogni energetici totali errati.

L'alternativa alla Ventilazione Naturale Controllata, per la seconda classe di studio, è data dalla Ventilazione Meccanica Controllata con recupero di calore; anche se meccanica con trattamento d'aria per il controllo dell'umidità, tale ventilazione ha il solo scopo di garantire i ricambi necessari a garantire le qualità di salubrità e comfort degli ambienti interni, la funzione di controllo della temperatura rimane assegnato al sistema di soffitto radiante.

Si nota, dallo schema in Simulation Studio riportato alla pagina seguente, come l'apertura degli infissi sia rimasta solo per quanto riguarda la zona termica corrispondente alla serra bioclimatica.

In questo modello si simula il convogliamento di tutta l'aria di ricambio dell'appartamento in uno scambiatore di calore a flussi incrociati, con efficienza costante; essendo in ambito di ventilazione meccanica si impone un tasso di ricambio pari a 0,5 vol/h, ai fini del calcolo del fabbisogno energetico.



Il Type 91 è un componente che simula uno scambiatore di calore a efficienza costante; nel progetto si è scelto uno scambiatore ad elevata efficienza, circa il 90%, tuttavia per tener conto delle perdite di distribuzione,

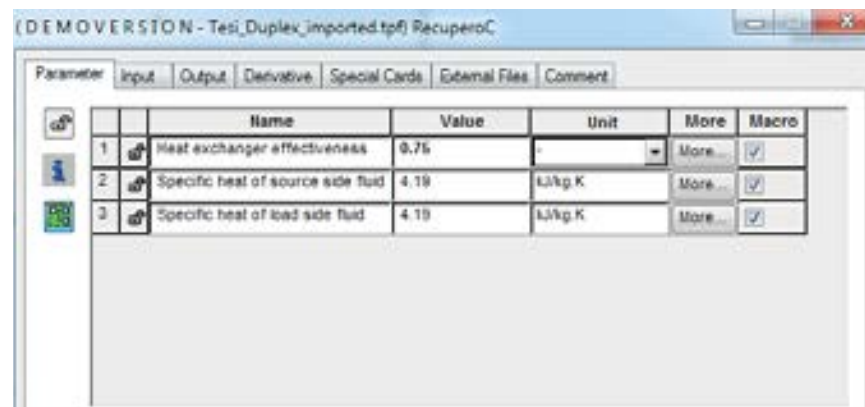


Fig.034 Finestra di impostazione del componente Type 91, scheda Parameter

nonchè della possibilità di funzionamento a portate anche superiori, nella scheda Parameter del componente è stato inserito un valore ridotto pari al 75%.

Nella scheda Input sono definite le grandezze che caratterizzano il funzionamento

del Type:

- la Source side inlet temperature, ovvero la temperatura dell'aria "sorgente" di calore, è assegnata alla media pesata delle temperature delle zone termiche, nell'ipotesi di un tasso di ricambio uniforme in tutti gli ambienti;

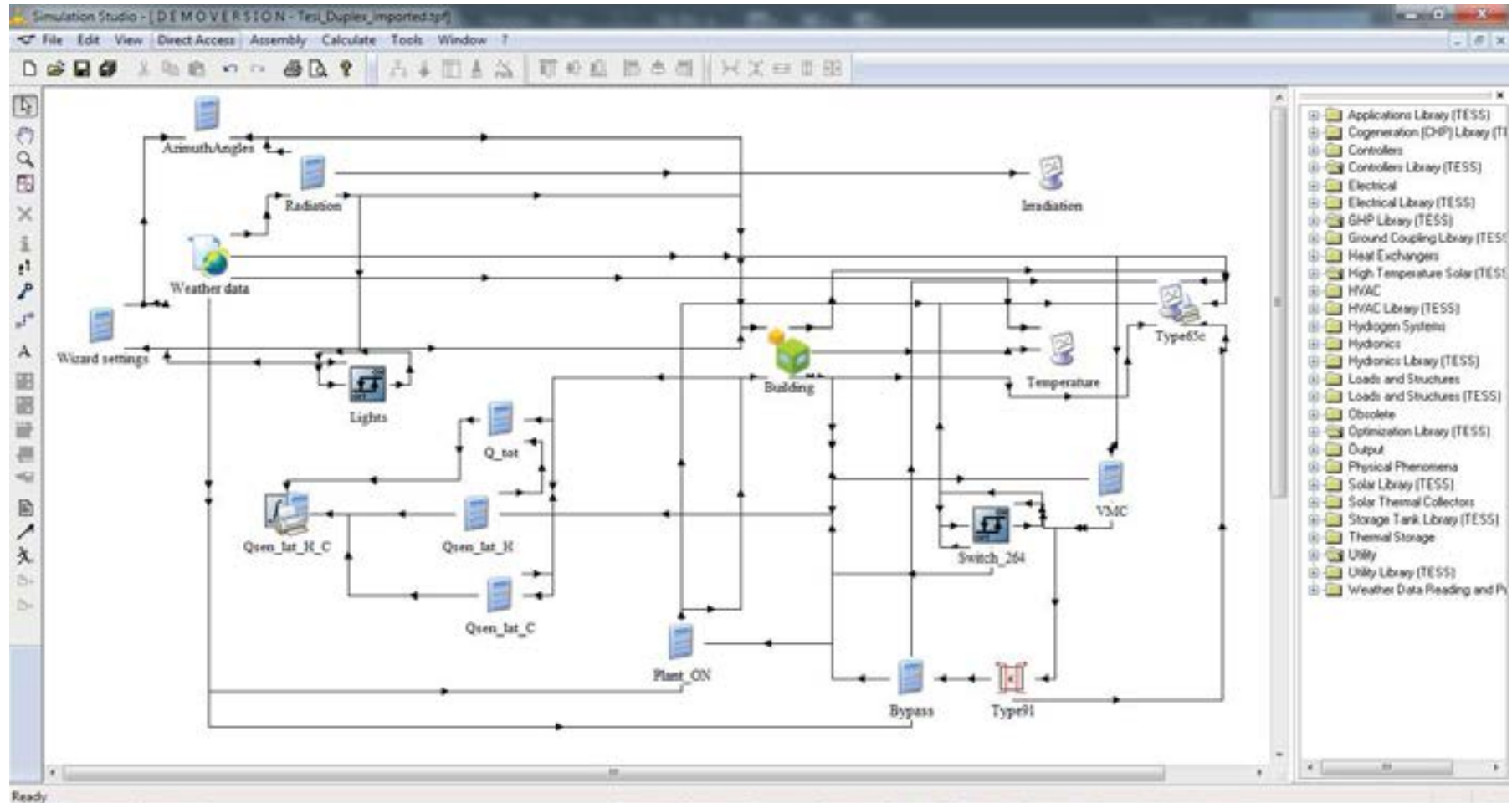


Fig.035 Schermata del Simulation Studio nel caso di VMC

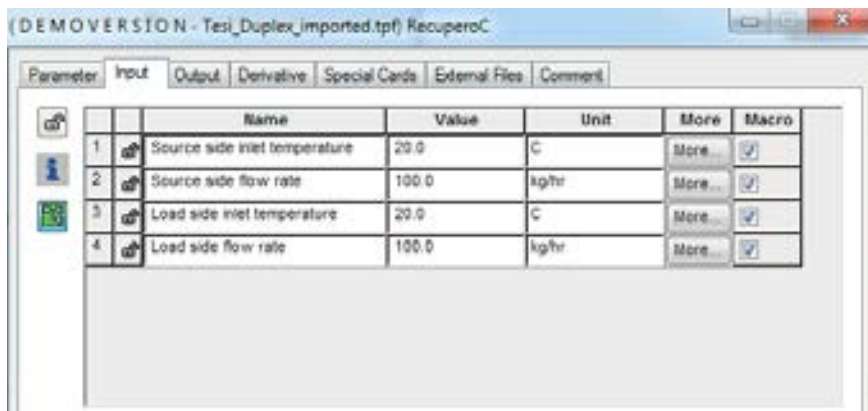


Fig.036 Finestra di impostazione del componente Type 91, scheda Input

- il Source side flow rate, parallelamente al Load side flow rate, corrispondono alla portata d'aria di ricambio, posta uguale in ingresso e in uscita, e ottenuta moltiplicando il tasso di ricambio per la densità dell'aria, assunta mediamente costante nel range di temperature di progetto;
- il Load side inlet temperature, posta come la temperatura dell'aria esterna, che viene preriscaldata in inverno, o preraffrescata in caso di funzionamento estivo.

In conclusione questo caso presenta un controllo di bypass a valle dello scambiatore di calore che verifica, in ambito estivo, che la temperatura dell'aria proveniente dallo scambiatore sia inferiore a quella dell'aria esterna: nel caso non lo sia è data in ingresso al Type 56 la temperatura dell'aria esterna, ovvero si impone che la ventilazione meccanica avvenga senza recupero di calore in quanto si hanno benefici dato che la temperatura interna è già superiore a quella esterna.

All'interno del Trnbuild, al posto dell'infiltrazione naturale, è definita per le zone termiche una ventilazione meccanica a portata costante che in ingresso riceve l'aria alla temperatura calcolata dallo scambiatore di calore, con le limitazioni espresse precedentemente.

### III CLASSE DI STUDIO

L'ultima alternativa di analisi riguarda i carichi interni, ovvero si pone a confronto il caso in cui l'alloggio sia caratterizzato da un'occupazione standard, propria di una famiglia tipo, con quello di un'occupazione assidua dei locali, che comporta carichi interni elevati, soprattutto nel periodo estivo.

Si riportano gli schedules della zona giorno e della zona notte, prima per il caso a carichi interni standard, Low Internal Loads, e successivamente per il caso a carichi interno elevato, High Internal Loads.

In generale la zona notte risulta occupata completamente nelle ore notturne, tra le 23:00 e le 7:00 del mattino.

Successivamente l'occupazione passa alla zona giorno dove, a partire dalle 8:00 i due casi si differenziano:

- nel caso LIL la residenza si svuota fino alle 13:00, orario in cui si suppone tornino ad esempio i figli, comportando per il pomeriggio carichi dimezzati;
- nel caso HIL l'occupazione permane fino a sera, con carichi dimezzati nella zona notte e carichi amplificati nelle ore centrali del giorno in soggiorno, ad esempio a causa dell'arrivo di ospiti.

Durante l'orario di cena, tra le 19:00 e le 21:00 le camere da letto si svuotano e i carichi interni vengono massimizzati nell'area giorno.

Dopo cena vi è un'equa distribuzione dei carichi tra i locali dell'appartamento, per poi ricominciare il ciclo notturno.

La variante a carichi elevati è stata introdotta per verificare più in dettaglio la reale incidenza degli impianti e delle prestazioni dell'involucro, specialmente in ambito estivo: infatti carichi interni maggiori portano prevalentemente benefici per il fabbisogno energetico invernale, mentre è nella stagione estiva che si valuta l'efficienza delle soluzioni adottate.

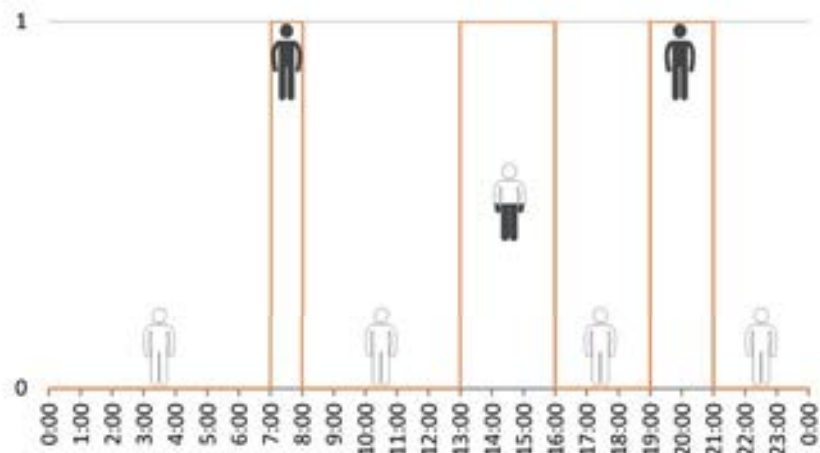


Fig.037 Schedule per la Zona Giorno, LIL

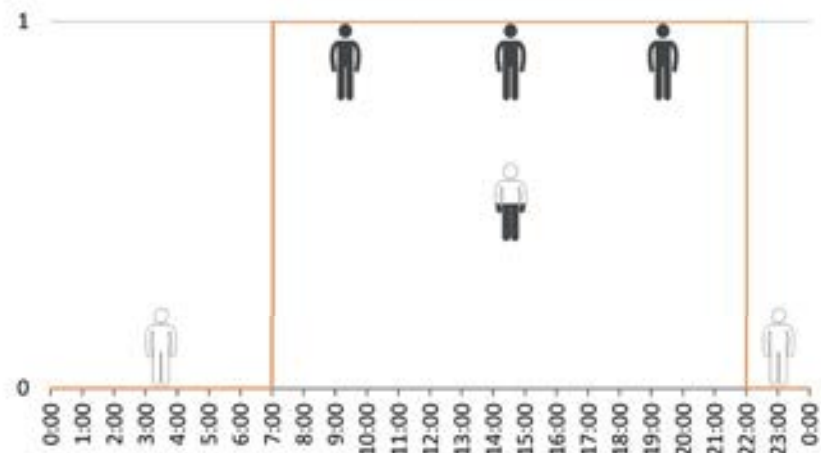


Fig.038 Schedule per la Zona Giorno, HIL

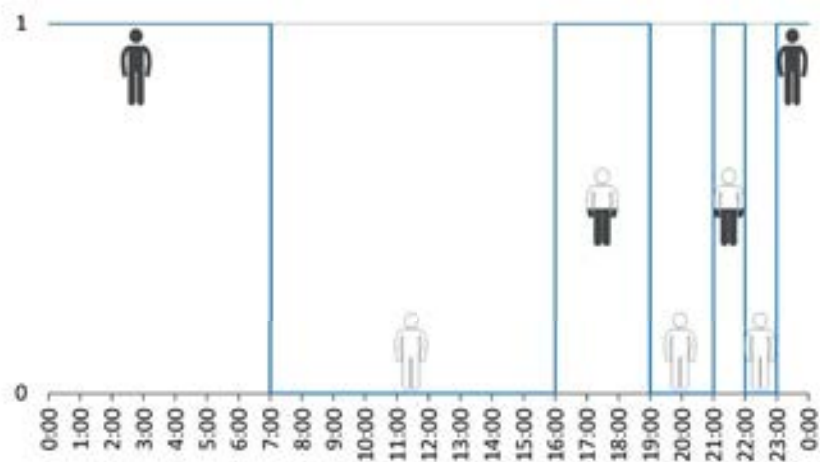


Fig.039 Schedule per la Zona Notte, LIL

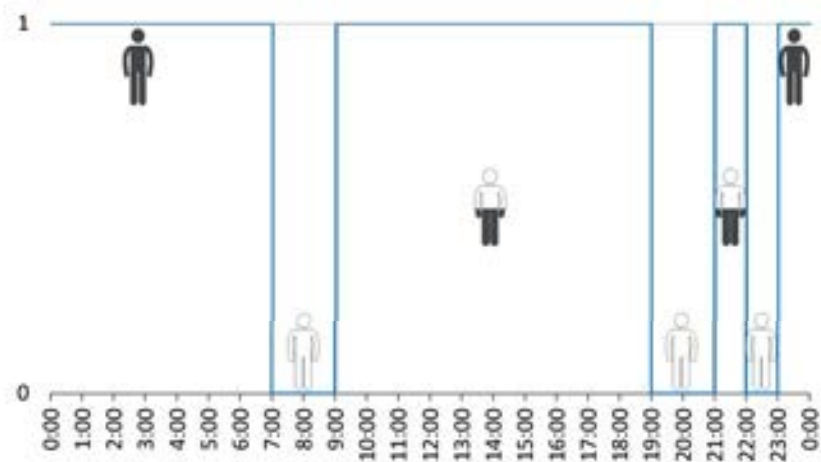


Fig.040 Schedule per la Zona Notte, HIL



#### 5.3.4 PARAMETRI DEL PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE

In sede di valutazione delle caratteristiche dell'involucro dell'edificio, si definiscono gli elementi che si ritiene possano influire sulle prestazioni della costruzione, in termini di fabbisogno energetico e di aspettative di comfort.

In base alle informazioni reperibili nella letteratura di settore, per quanto riguarda il progetto precedentemente esposto, si considerano proprietà significative ai fini dell'analisi:

- lo spessore dell'isolante termico a bassa densità delle chiusure;
- lo spessore dell'isolante termico a media densità posto a cappotto;
- la trasmittanza termica degli infissi esterni, valutata in modo indipendente a seconda dell'orientamento;
- il coefficiente di guadagno solare (SHGC) di suddetti infissi;
- la trasmittanza termica delle partizioni trasparenti tra la serra bioclimatica e gli ambienti interni;
- il coefficiente di guadagno solare di suddette partizioni trasparenti;
- il fattore di schermatura solare dei sistemi mobili adottati in sede di progetto.

In questa analisi, gli strati interni delle chiusure opache sono vincolati in termini produttivi ed economici secondo la tecnologia costruttiva scelta, pannelli prefabbricati di legno lamellare, pertanto non sono oggetto di ottimizzazione.

Per quanto riguarda le chiusure trasparenti, le loro dimensioni presentano vincoli progettuali strutturali e di comfort illuminotecnico degli ambienti interni, per questo motivo l'ottimizzazione è incentrata sulle prestazioni degli infissi e non sulle loro dimensioni.

Le impostazioni usate nella simulazione per i parametri precedentemente definiti sono riportate in Tabella 005, le tipologie di infissi sono specificate nella

successiva Tabella 006.

Al fine di valutare la risposta dell'involucro nei confronti delle sollecitazioni dell'utenza si considerano le tre classi di studio per il modello di analisi, come precedentemente esposto:

- Essendo in presenza di un involucro fortemente resistivo, si valuta, in alternativa alla soluzione adottata di partizioni verticali isolate, la possibilità di impiego di partizioni verticali di tipo massivo con una più elevata capacità termica. In questo modo è possibile verificare l'effettiva efficacia di elementi con funzione di volano termico posti all'interno di un involucro ad alte prestazioni nella riduzione dei carichi termici estivi.
- Per quanto riguarda la ventilazione, si analizza l'efficacia di un sistema a Ventilazione Naturale Controllata (VNC) nel mantenimento di livelli di comfort igrotermico elevati, secondo i dettami della norma UNI 15251, nei confronti di un impianto a ventilazione meccanica con recuperatore di calore, finalizzato al mantenimento di condizioni di comfort secondo i parametri della norma UNI 7730.
- Infine, si distinguono due tipologie di carichi interni. La prima riferita ad un nucleo familiare caratterizzato da una routine giornaliera che prevede l'assenza da casa nelle ore del mattino e del primo pomeriggio; la seconda riferita al caso di inquilini che esercitano una permanenza assidua all'interno dell'abitazione.

Le possibili permutazioni di queste tre classi di studio conducono alla definizione di otto modelli per la simulazione, codificati per semplicità secondo una terna binaria del tipo (1.0.1), il cui significato è esplicitato nel paragrafo precedente.

Tab. 005 Parametri identificativi delle proprietà dell'involucro edilizio: definizione dei valori limite e del livello di discretizzazione scelti per la simulazione.

Parametri dell'ottimizzazione	Unità di misura	Min	Max	Step
LanaT - Spessore dell'isolante termico a bassa densità utilizzato per le chiusure opache	[m]	0,1	0,3	0,1
FibraT - Spessore dell'isolante termico a media densità utilizzato a cappotto per le chiusure opache	[m]	0,04	0,12	0,04
UwS - Tipologia di infisso esterno rivolto a Sud, variabile discreta riferita ad uno specifico set di prodotti in commercio	[-]	1	4	1
UwEW - Tipologia di infisso esterno rivolto ad Est o ad Ovest, scelta a partire dal medesimo set di prodotti in commercio	[-]	1	3	1
UwSerra - Tipologia di infisso interno posto tra la serra bioclimatica e gli ambienti interni	[-]	1	3	1
ScherF - Fattore di schermatura solare, espresso come valore normalizzato di radiazione solare schermata	[-]	0,4	1	0,3

In questo ambito è stato limitato il numero di possibili valori assunti da ciascun parametro, in quanto il totale delle possibili combinazioni tra i parametri dell'ottimizzazione segue la seguente relazione:

$$C_{TOT} = \prod p_i$$

dove,

$p_i$  è la quantità di differenti valori assunti dalla variabile  $i$ -esima.

In particolare sono stati definiti 6 parametri, di cui 5 presentano tre possibili valori e uno quattro, per un totale di 972 possibili combinazioni; dal punto di vista computazionale, un ulteriore affinamento dei domini delle variabili scelte comporta un aumento esponenziale delle combinazioni stesse.

Pertanto, in caso di ottimizzazioni che coinvolgono molti parametri è preferibile effettuare vari passaggi, partendo da un range di intervalli di valori a scala maggiore, per poi affinare la ricerca nell'intorno delle configurazioni maggiormente

promettenti nei confronti degli obiettivi della ricerca svolta.

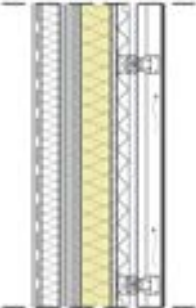
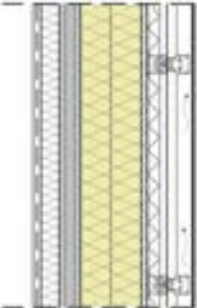
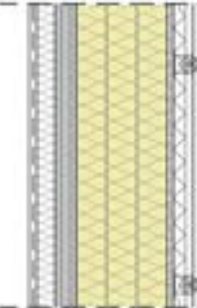
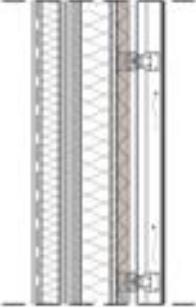
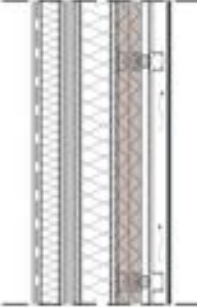

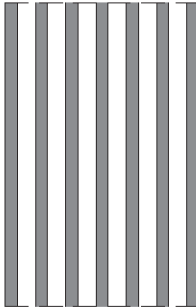
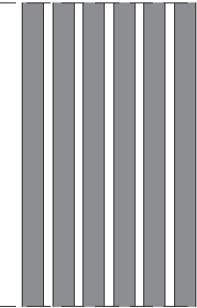

Di seguito sono riportate in maggiore dettaglio le possibili alternative in relazione ai parametri scelti; il nome riportato nella descrizione dei parametri stessi corrisponde alla denominazione delle variabili usate in seguito nella programmazione dell'ottimizzazione.

Infine si riportano le piante dei due livelli della residenza duplex scelta, come precedentemente enunciato, ai fini del processo di ottimizzazione, con riportate le localizzazioni dei materiali rappresentati dai parametri discreti qui elencati.

Tab. 006 Tipologie di vetro individuate nella gamma di prodotti disponibili sul mercato per il sistema di chiusure trasparenti scelto nel progetto.

Identificativo per la simulazione	Struttura del vetro	Descrizione	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	g (SHGC)	$t_v$
1	4 :- 16 - 4	Doppia lastra, basso emissivo, intercapedine in gas Argon	1,1	0,63	0,80
2	4 :- 8 - 4 - 10 - : 4	Tripla lastra, basso emissivo, intercapedini in gas Argon	0,9	0,51	0,71
3	4 :- 14 - 4 - 14 - : 4	Tripla lastra, basso emissivo, intercapedini in gas Argon	0,6	0,50	0,71
4	6 :- 14 - 6 - 14 - : 6	Tripla lastra, protezione solare senza riflesso, intercapedini in gas Argon	0,6	0,37	0,60

Tab. 007 Dettaglio dei parametri d'involucro utilizzati nell'ottimizzazione

Parametro d'involucro	Caso 1	Caso 2	Caso 3
LanaT - Spessore dell'isolante termico a bassa densità utilizzato per le chiusure opache	 10 cm	 20 cm	 30 cm
FibraT - Spessore dell'isolante termico a media densità utilizzato a cappotto per le chiusure opache	 4 cm	 8 cm	 12 cm
ScherF - Fattore di schermatura solare, espresso come valore percentuale di radiazione solare schermata	 40 %	 70 %	 100 %

Tab. 008 Dettaglio delle tipologie di vetro utilizzate nell'ottimizzazione

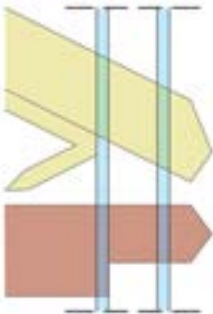
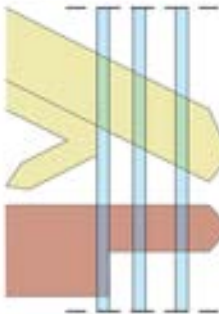
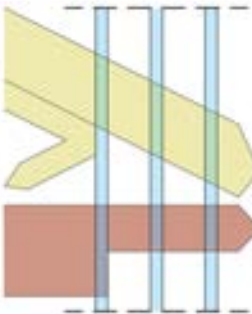
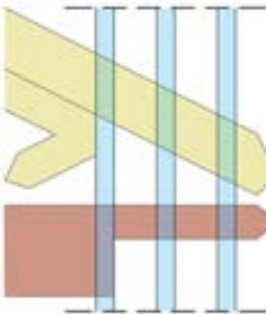
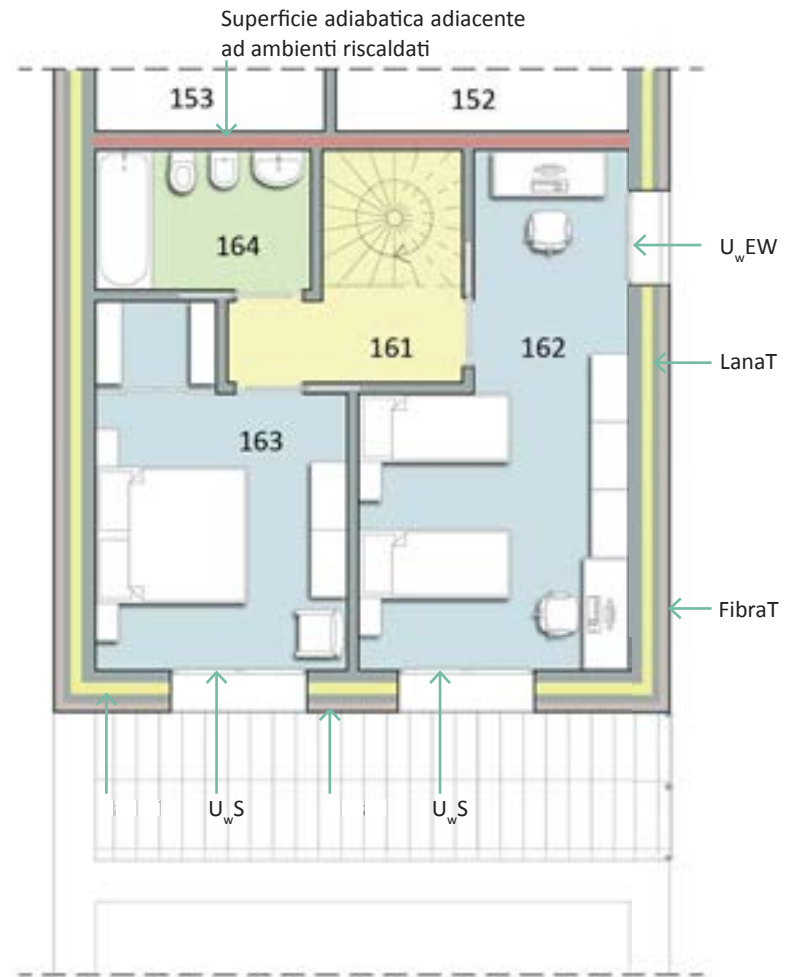
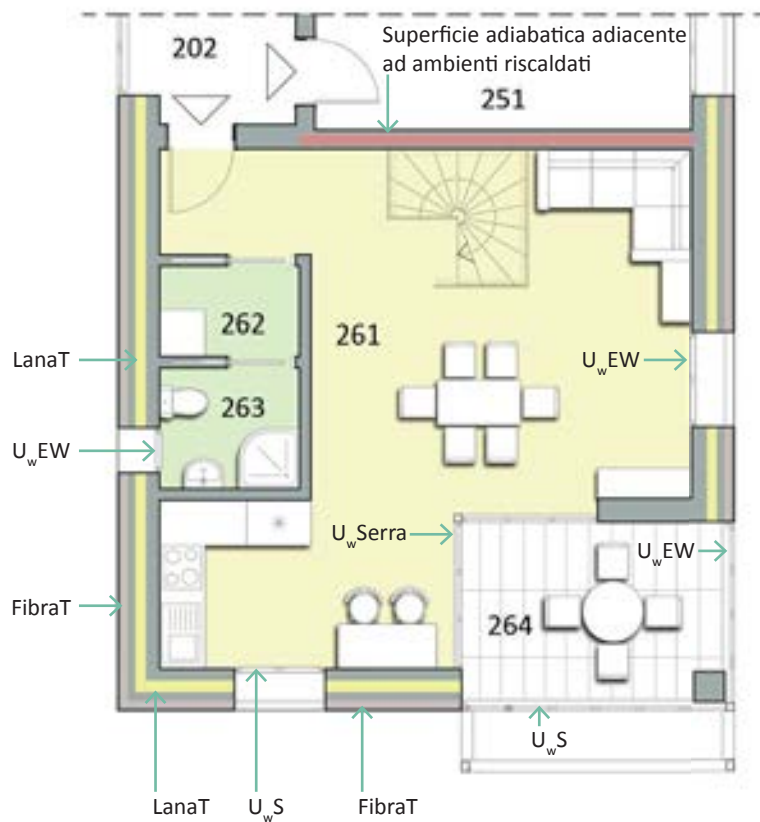
Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Variabili: $U_w S$ $U_w EW$ $U_w Serra$	Variabili: $U_w S$ $U_w EW$ $U_w Serra$	Variabili: $U_w S$ $U_w EW$ $U_w Serra$	Variabili: $U_w S$
4 :- 16 - 4	4 :- 8 - 4 - 10 :- 4	4 :- 14 - 4 - 14 :- 4	6 :- 14 - 6 - 14 :- 6
Doppia lastra, basso emissivo, intercapedine in gas Argon	Tripla lastra, basso emissivo, intercapedini in gas Argon	Tripla lastra, basso emissivo, intercapedini in gas Argon	Tripla lastra, protezione solare senza riflesso, intercapedini in gas Argon
			
$t_v = 0,80$ $g = 0,63$ $U_g [W/m^2K] = 1,1$	$t_v = 0,71$ $g = 0,51$ $U_g [W/m^2K] = 0,9$	$t_v = 0,71$ $g = 0,50$ $U_g [W/m^2K] = 0,6$	$t_v = 0,60$ $g = 0,37$ $U_g [W/m^2K] = 0,6$

Fig.041 Piante della tipologia residenziale duplex



LEGENDA COLORI DELLA DISTRIBUZIONE INTERNA DEL DUPLEX

- Zona giorno
- Zona notte
- Servizi igienici



### 5.3.5 GENOPT (GENERIC OPTIMIZATION PROGRAM)

Una volta impostata la modellazione del progetto nel programma di simulazione dinamica, è utilizzato il programma generico di ottimizzazione Genopt; il software è incentrato sulla minimizzazione di una funzione di costo prestabilita, che spesso è onerosa in termini di calcolo e non derivabile, rendendo difficile stabilire a priori i punti di minimo in funzione delle variabili di progetto.

In particolare Genopt è un programma basato sul linguaggio java, indipendente dalla piattaforma di utilizzo, contiene una libreria di algoritmi di ottimizzazione locale e globale, sia mono-dimensionale che multi-dimensionale; dato l'utilizzo del linguaggio di programmazione java, sono liberamente programmabili algoritmi e funzioni personalizzati da aggiungere al programma stesso, tuttavia le funzionalità di base sono sufficienti a rispondere alla maggior parte delle esigenze, almeno dal punto di vista del progetto edilizio.

Il software utilizza una serie di file di testo per la configurazione del processo di ottimizzazione, per la generazione di input e la lettura degli output in relazione al programma di simulazione interpellato da Genopt nel calcolo della funzione obiettivo.

Questa particolarità rende possibile l'impiego di qualsiasi software di simulazione in coppia con gli algoritmi di Genopt, senza la necessità di specifiche conoscenze di programmazione, se non per la configurazione dei file di impostazione della simulazione, che peraltro si basano su una sintassi estremamente semplificata, come esposto in seguito.

Come accennato il programma di simulazione da utilizzare insieme a Genopt, in questo caso Trnsys, deve rispondere a due requisiti fondamentali, ai fini del processo di ottimizzazione:

- il software di simulazione deve poter leggere gli input da uno o più file e deve scrivere il valore della funzione obiettivo in un file di testo, inoltre anche i messaggi di errore devono essere riportati su file di testo;

- il software di simulazione deve poter essere inizializzato da una riga di comando e deve terminare automaticamente, ovvero non deve essere necessario l'intervento manuale dell'utente, cosa che vanificherebbe il funzionamento automatico di Genopt, annullandone i benefici derivanti dal non dover svolgere manualmente le singole analisi.

La scelta della funzione obiettivo deve ricadere su un valore di output del programma di simulazione, di cui si cerca il minimo. In caso di un problema di massimizzazione è necessario cambiare di segno alla funzione di costo, al fine di ricondurre il tutto alla ricerca di un valore minimo.

In questo lavoro di Tesi si ricerca la correlazione tra il fabbisogno energetico dell'edificio e i costi di costruzione, valutando la possibilità di ottenere prestazioni energetiche ottimali, non necessariamente a costo massimo.

Si tratta sostanzialmente della correlazione tra due funzioni obiettivo: dato che Genopt legge uno e un solo valore di output del programma di simulazione e dato che i costi di costruzione, variabili a seconda dei parametri dell'ottimizzazione, non sono facilmente ricavabili nel software Trnsys, si sceglie come funzione obiettivo il fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento, estrapolati direttamente come output di Trnsys.

Perciò, tramite Genopt, si cerca il minimo dei consumi energetici ottenibili al variare dei parametri edilizi scelti in precedenza, mentre un calcolo a parte è fatto per i costi di costruzione; i risultati sono poi esposti confrontando questi due valori, valutando in tal modo gli effetti delle diverse scelte progettuali.

In seguito alla funzione obiettivo si stabiliscono le variabili per il processo di ottimizzazione, elencate nel paragrafo precedente; stabilite queste premesse si passa alla scrittura e configurazione dei file di istruzioni per il funzionamento del software Genopt.

Innanzitutto si richiamano le basi dell sintassi del linguaggio Java, usato nella scrittura delle istruzioni per Genopt:

- // permette di scrivere una riga di commento;
- /\* e \*/ racchiudono un commento multilinea;
- il segno di uguaglianza = rappresenta l'assegnazione di un valore;
- ogni linea di comando deve terminare con un punto e virgola;
- le parentesi graffe { } racchiudono un gruppo di istruzioni;
- \ impone a Java di considerare il carattere immediatamente successivo come una semplice stringa, utile quando sono presenti nei testi dei caratteri speciali del software;
- Java distingue tra lettere maiuscole e minuscole.

Sono inoltre definite le seguenti tipologie di variabili:

- String rappresenta una sequenza di caratteri, di norma racchiusa da virgolette, se ci sono virgolette all'interno della stringa si usa il carattere \ aggiunto nella posizione che le precede (lo stesso vale per le stringhe di indirizzo dove il carattere \ deve raddoppiare, in quando singolo verrebbe omesso da Java);
- StringReference riferito ad un nome di variabile che compare nello stesso file;
- Integer rappresenta un generico numero intero;
- Double rappresenta un generico numero reale, compresi gli interi;
- Boolean è una variabile logica.

Genopt necessita della configurazione di 5 files, ai fini del funzionamento del programma:

- file di inizializzazione;
- file di configurazione;
- file di comando;
- file Deck di Trnsys relativo alla configurazione del modello nel Simulation Studio;
- file Building relativo alla struttura del modello in Trnbuild.

## FILE DI INIZIALIZZAZIONE

Nel file di inizializzazione di Genopt, con estensione .ini, sono specificati:

- la localizzazione dei file necessari al processo di ottimizzazione;
- di quali file prodotti dalla simulazione deve essere conservata una copia, in generale al termine di ogni simulazione i relativi file vengono rimossi;
- eventuali stringhe aggiuntive da dare in input al programma di simulazione;
- dove trovare nel file di output il valore della funzione obiettivo;
- eventuali operazioni da eseguire sulla funzione obiettivo;
- il file di comando per il processo di ottimizzazione.

Di seguito si specificano le sezioni che devono essere presenti nel file, nell'ordine in cui devono essere scritte, all'interno della sezione l'ordine dei comandi è poi arbitrario, purchè i numeri a suffisso delle parole chiave rimangano in ordine crescente.

*Simulation.Files.Template:* Genopt genera i file di input per la simulazione scrivendo i valori assunti dalle variabili ad un determinato step dell'ottimizzazione a partire da dei file "modello", definiti successivamente e denominati Template. All'interno di tali file le variabili sono scritte con il loro nome racchiuso dai caratteri %, per esempio %Spessoreisolante%, in tal modo sono riconosciute da Genopt e sostituite con il valore numerico, secondo quanto specificato nel file di comando.

Pertanto qui sono specificati i nomi e i percorsi dei file Template, che devono essere di uguale numero di quelli specificati nella seguente sezione di input.

Ogni variabile specificata nel file di comando deve apparire almeno una volta all'interno di un file Template o in una funzione all'interno della sezione *ObjectiveFunctionLocation*.

*Simulation.Files.Input:* nomi e locazione dei file di input generati da Genopt a partire dai modelli Template descritti in precedenza, il cui numero deve corrispondere.

Questa sezione, come molte altre, presenta l'opzione SavePath: il file input corrispondente è salvato nella directory specificata, al nome del file è aggiunto un prefisso indicante lo step di ottimizzazione corrispondente.

*Simulation.Files.Log*: deve essere specificato almeno un file log relativo alla simulazione corrispondente, nel quale Genopt rileva la presenza di errori e, nel caso, termina la simulazione.

Anche in questa sezione è disponibile l'opzione SavePath.

*Simulation.Files.Output*: contiene i nomi dei file di output, almeno uno, nei quali è reperibile la funzione obiettivo; possono essere specificati anche file che non contengono la funzione obiettivo ed è disponibile la funzione di salvataggio.

Il valore della funzione obiettivo è cercato da Genopt in ordine partendo dal primo file, se non è contenuta in nessuno il programma termina con un errore; si nota che nelle iterazioni successive alla prima genopt legge solamente il file in cui è stata la funzione obiettivo, saltando i precedenti.

*Simulation.Files.Configuration*: contiene il percorso e il nome del file di configurazione

*Simulation.CallParameter*: sezione opzionale in cui possono essere specificati suffissi o prefissi al comando che inizializza la simulazione, non utilizzata in questo caso.

*Simulation.ObjectiveFunctionLocation*: qui è specificato dove deve essere letto il valore della funzione obiettivo, incluse eventuali operazioni di post-processo; i file di output sono letti a partire dall'ultima riga e il valore della funzione di costo è delimitato tramite una stringa appositamente specificata.

In alternativa ad una stringa può essere specificata una funzione per effettuare operazioni sulla funzione obiettivo.

Questa sezione è opzionale nel file di inizializzazione e obbligatoria in quello di configurazione, tuttavia la prima ha la precedenza sulla seconda.

*Optimization.Files.Command*: questa sezione riporta la locazione e il nome del file di comando, che contiene le informazioni matematiche per l'ottimizzazione.

Di seguito si riporta il contenuto di un file di inizializzazione tipo utilizzato nell'analisi svolta:

```
"Simulation {
    Files {
        // Templates for simulation input files, i.e. DCK and/or B17 files
        // which have been edited to indicate optimization parameters
        // with their names between percent sign, e.g. %myVar%
        Template {
            File1 = "Tesi_Duplex_imported_Template.dck";
            Path1 = "C:\\Users\\Milord\\Desktop\\Tesi\\TRNSYS\\Duplex\\
Genopt_0_0_0";
            File2 = "Tesi_Duplex_Template.b17";
            Path2 = Simulation.Files.Template.Path1;
        }
        // Files that will be created by GenOpt from the template before
        // each simulation run.
        // !!! Be careful that the deck file must refer to
        // !!! the correct building file
        Input {
            File1 = "GenOptRun.dck";
            Path1 = Simulation.Files.Template.Path1;
            File2 = "GenoptRun.b17";
            Path2 = Simulation.Files.Template.Path1;
        }
        // Log file to parse for error. In TRNSYS 16 this file has the
        // same name as the deck with a .log extension
        Log {
            File1 = "GenOptRun.log";
            Path1 = Simulation.Files.Template.Path1;
        }
    }
}
```

```

// Output file to parse for the cost function.
Output {
    File1 = "QsenH_C.sum";
    Path1 = Simulation.Files.Template.Path1;
    SavePath1 = "C:\\Users\\Milord\\Desktop\\Tesi\\TRNSYS\\
Duplex\\Genopt_0_0_0\\Outputs";
    File2 = "Temperature.plt";
    Path2 = Simulation.Files.Template.Path1;
    SavePath2 = "C:\\Users\\Milord\\Desktop\\Tesi\\TRNSYS\\
Duplex\\Genopt_0_0_0\\Outputs";
}
// Configuration file for TRNSYS 17 (common to all optimization projects)
Configuration {
    File1 = "GenOptDuplex.cfg";
    Path1 = Simulation.Files.Template.Path1;
}
}
ObjectiveFunctionLocation {
    // Name of the cost function in GenOpt
    Name1 = "QsenTot";
    // It will be read AFTER the LAST occurrence of the "Delimiter"
    Delimiter1 = "Sum 0.8760000000000000E+0004 ";
}
} // end of section Simulation
Optimization {
    // Where to find the optimization settings
    Files {
        Command {
            File1 = GenOpt_OptimizationCommands.txt;
            Path1 = Simulation.Files.Template.Path1;
        }
    }
} // end of configuration file"

```

## FILE DI CONFIGURAZIONE

Il file di configurazione contiene le informazioni relative al programma di simulazione ed è unico per programma di simulazione e ambiente di lavoro.

Di seguito si specificano le sezioni che devono essere presenti nel file, nell'ordine in cui devono essere scritte, all'interno della sezione l'ordine dei comandi è poi arbitrario, purchè i numeri a suffisso delle parole chiave rimangano in ordine crescente.

*SimulationError*: contiene le stringhe che denotano i messaggi di errore nel file log del programma di simulazione, in questo caso Trnsys; deve essere presente almeno una tipologia di errore specificata.

*IO*: formato numerico con cui i parametri sono scritti all'interno dei file input, in generale è valido il tipo Double, a meno che il programma di simulazione non sia in grado di leggere tale tipo numerico.

*SimulationStart*: contiene la stringa di comando usata per lanciare il programma di simulazione da parte di Genopt, varia sensibilmente a seconda del sistema operativo.

La variabile Command dispone di una notazione particolare: qualsiasi valore del file di inizializzazione può esservi copiato, racchiuso tra i caratteri %.

*ObjectiveFunctionLocation*: segue le stesse impostazioni dell'omonima sezione nel file di inizializzazione, tuttavia se viene specificata in quest'ultimo file la presente sezione non viene letta da Genopt.

Di seguito si riporta il file di configurazione utilizzato, si nota che in ambiente windows si debba passare come stringa al prompt dei comandi la locazione dell'eseguibile TrnExe, seguito dalla stringa con la locazione e il nome del file di input per la simulazione; il termine /h assicura un'esecuzione di TrnExe in background, se non ci sono plotter video attivi nel Deck di Trnsys.

```

// Strings that indicate an error in the simulation when parsing the TRNSYS log
//file

SimulationError {
    ErrorMessage = **** Fatal Error at time";
    ErrorMessage = **** Simulation stopped with errors";
}

// Output format
IO {
    NumberFormat = Double;
}

// Command to launch TRNSYS 17. Note that GenOpt should pass the filename
// enclosed within quotes. The GenOpt interpreter requires special characters
// like backslash (\) and quotes (") to be preceded by a backslash \
// The /h switch is used for TRNSYS, which means that TRNExe will run in the
// background, completely hidden, if there is no active online plotter (Type 65)
// in the simulation.
// Change the switch to "/n" if you want to display the TRNSYS progress bar.
SimulationStart {
    Command = "cmd /C \"C:\\Users\\Milord\\Desktop\\TRNSYS_
programma\\Trnsys17\\Exe\\TRNExe.exe\" \"%Simulation.Files.
Input.Path1%\\%Simulation.Files.Input.File1%\" \"/h";
    WriteInputFileExtension = true;
}

//The ObjectiveFunctionLocation section will be overridden by equivalent sections
in the ini files for individual optimization problems
ObjectiveFunctionLocation {
    Name1 = "Result";
    Delimiter1 = "Sum 0.8760000000000000E+0004 ";
}

```

## FILE DI COMANDO

In questo file sono specificati i settaggi dell'ottimizzazione, quali i parametri indipendenti, i criteri di arresto e l'algoritmo utilizzati.

I parametri possono essere continui o discreti: quelli continui possono assumere qualunque valore, mentre quelli discreti assumono solo valori specificati dall'utente in questo file.

Il tipo di parametri dipende anche dalla scelta e dal tipo di algoritmo utilizzato.

*Parametri continui:* sono definiti secondo la seguente sintassi,

```

"Parameter {
    Name = String ;
    Ini = Double ;
    Step = Double ;
    [ Min = Double | SMALL; ]
    [ Max = Double | BIG; ]
    [ Type = CONTINUOUS; ]
}"

```

Sono obbligatori il nome, lo stesso posto nei file Template racchiuso tra i simboli % e sostituito con l'opportuno valore da Genopt in sede di generazione dei file di input per la simulazione; il valore iniziale e il passo di incremento, funzione dell'algoritmo di ottimizzazione.

Sono opzionali i valori di minimo e di massimo assunti dal parametro, nonché la specificazione del Type, il quale se omissivo implica un parametro di tipo continuo.

*Parametri discreti:* si deve specificare il set di valori ammissibili, oppure se il parametro è discretizzato linearmente o logaritmicamente, si specificano i limiti superiore ed inferiore nonché il numero di intervalli.



La notazione, nel caso di valori ammissibili, è la seguente:

```
"Parameter {  
Name = String ;  
Ini = Integer ;  
Values = String ;  
[ Type = SET; ]  
}"
```

Il nome ha la stessa funzione dei parametri continui, Ini è l'indice che rappresenta il valore corrispondente al numero intero assegnato, tra quelli ammissibili; mentre Values deve rispettare la notazione del tipo:  
Values = "value1, value2, value3".

Qui il comando Type serve ad indicare che il parametro è di tipo discreto (SET), se viene omesso, in presenza di un set di valori ammissibili, il parametro è riconosciuto in automatico come discreto.

Mentre la notazione, per il caso di una discretizzazione a intervalli lineari o logaritmici, è la seguente:

```
"Parameter {  
Name = String ;  
Ini = Integer ;  
Type = SET;  
Min = Double ;  
Max = Double ;  
Step = Integer ;  
}"
```

Qui i valori sono come quelli indicati in precedenza, dove il Type deve essere necessariamente SET; mentre lo Step indica il numero di intervalli, se è un numero negativo implica una scala logaritmica, se è nullo il parametro diventa una costante al valore indicato per il minimo.

*Funzioni:* la specifica di funzioni è opzionale, se ne viene specificata una, il suo nome deve essere ripreso in un'altra funzione, in un file Template o in un output.

La sintassi per l'input di una funzione è la seguente:

```
"Function{  
Name = String;  
Function = String;  
}"
```

dove il nome deve essere unico, come per i parametri, e la funzione deve essere una stringa racchiusa tra virgolette; quest'ultima contiene una formula i cui argomenti possono essere variabili indipendenti, la parola chiave stepNumber il risultato della simulazione.

Sono utilizzabili le seguenti operazioni:

Funzione	Risultato
add(x0, x1)	$x0 + x1$
add(x0, x1, x2)	$x0 + x1 + x2$
subtract(x0, x1)	$x0 - x1$
multiply(x0, x1)	$x0 \times x1$
multiply(x0, x1, x2)	$x0 \times x1 \times x2$
divide(x0, x1)	$x0/x1$
log10(x0)	$\log_{10}(x0)$

Inoltre tutte le funzioni definite nella classe `java.lang.StrictMath` e i cui argomenti e risultati sono di tipo `Double` sono accessibili utilizzando semplicemente il loro nome, senza importare pacchetto e classe nel file.

In generale il file di comando presenta la struttura e le sezioni elencate di seguito.

*Vary:* contiene le definizioni dei parametri indipendenti e le funzioni specificate in precedenza.

*OptimizationSettings:* qui sono specificate le impostazioni generali come il numero massimo di iterazioni dell'ottimizzazione, dopo il quale Genopt termina indipendentemente dalla condizione raggiunta nell'esecuzione dell'algoritmo di ricerca specificato.

Inoltre il parametro opzionale MaxEqualResults fa terminare l'algoritmo dopo che lo stesso risultato è ottenuto consecutivamente per il numero di volte indicato, di default impostato a 5.

Infine il parametro opzionale UnitsOfExecution specifica il numero massimo di processi eseguiti in parallelo, se non è specificato genopt utilizza il numero di processori del computer in uso.

*Algorithm:* qui è indicato l'algoritmo utilizzato per l'ottimizzazione e le relative impostazioni; in particolare, nell'analisi svolta, si è utilizzato l'algoritmo Mesh, che calcola la funzione obiettivo per tutte le combinazioni possibili dei parametri definiti.

Questa scelta è motivata dalla volontà di confrontare i risultati energetici con quelli economici calcolati a parte, per cui è stato più utile disporre dei risultati completi, anche se forse meno efficiente dal punto di vista computazionale, in quanto, nel perseguire il solo fabbisogno energetico minimo, un algoritmo di ricerca più raffinato avrebbe sicuramente richiesto meno tempo di elaborazione.

Di seguito si riporta la struttura del file di comando utilizzato, questo è un semplice file di testo:

```
" Vary {
    Parameter {
        Name = LanaT;
        Min = 0.10;
        Ini = 0.10;
        Max = 0.30;
        Step = 2;
        Type = CONTINUOUS;
    }
    Parameter {
        Name = FibraT;
        Min = 0.04;
        Ini = 0.04;
```

```
        Max = 0.12;
        Step = 2;
        Type = CONTINUOUS;
    }
    Parameter {
        Name = ScherF;
        Min = 0.4;
        Ini = 0.4;
        Max = 1.00;
        Step = 2;
        Type = CONTINUOUS;
    }
    Parameter {
        Name = UgS;
        Ini = 1;
        Values = "13002, 2303, 13007, 13005";
        Type = SET;
    }
    Parameter {
        Name = UgEW;
        Ini = 1;
        Values = "13002, 2303, 13007";
        Type = SET;
    }
    Parameter {
        Name = UgSerra;
        Ini = 1;
        Values = "13002, 2303, 13007";
        Type = SET;
    }
}
```

```

OptimizationSettings {
    MaxIte = 1000;
    MaxEqualResults = 5;
    WriteStepNumber = false;
}
Algorithm {
    Main = Mesh;
    StopAtError = true;
}

```

Si notano le definizioni dei parametri edilizi enunciati in precedenza, i cui nomi sono presenti anche nel file Template dell'edificio; inoltre il numero massimo di iterazioni è posto a 1.000, in quanto come visto in precedenza il totale delle possibili combinazioni tra i parametri edilizi è 972, ovvero 972 simulazioni di Trnsys sono eseguite per ognuno degli 8 casi di studio impostati ad inizio capitolo.

#### FILE TEMPLATE DECK

Nel file Deck di Trnsys vi è una sola importante modifica da fare, in corrispondenza della parte relativa al Type 56:

```

"* Model "Building" (Type 56)
...
*** External files
ASSIGN "GenOptRun.b17" 31
*|? Building description file (*.bui) |1000
*-----"

```

È importante modificare in External files il nome del file Building, con estensione. b17, associato al Deck; in questa posizione va infatti scritto il nome del corrispondente input file come denominato nel file di inizializzazione, senza l'indicazione del percorso del file: in questo modo, dato che Genopt crea cartelle temporanee per le diverse esecuzioni di Trnsys, il file Building viene letto dalla stessa cartella del Deck, evitando errori.

#### FILE TEMPLATE BUILDING

Nel file Building devono essere cercati i valori dei parametri edilizi assunti come variabili dell'ottimizzazione e devono essere sostituiti con i relativi nomi, racchiusi tra i simboli %, con la stessa notazione di quanto indicato nel file di comando.

Per la chiusura verticale:

```

" * Walls
...
WALL CVO1
LAYERS=CARTONGESSO LANA_PECOR ABETE_XLAM LANA_PECOR OSB F2INT F2EXT
THICKNESS= 0.025 0.06 0.072 %LanaT% 0.018 %FibraT% 0.025
ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6
EPS-FRONT= 0.9 : EPS-BACK= 0.9
HFRONT = 11 : HBACK= 64
..."

```

Come accennato in precedenza non è possibile intervenire direttamente sulla trasmittanza e sul fattore solare dei vetri, tuttavia, dato che le ultime versioni di Trnsys incorporano nel file Building le funzioni di trasferimento dei vetri utilizzati nel modello, basta assegnare diverse tipologie di vetro alle finestre del modello, rispondenti alle esigenze di progetto, quindi si interviene a livello di file anziché sulle prestazioni dei vetri, sugli identificativi dei vetri stessi, come segue:

```

" * Windows
WINDOW EXT_WINDOW1
WINID=6001 : ...
WINDOW SINGLE
WINID=%UgSerra% : ...
WINDOW FIN_EW
WINID=%UgEW% : ...
WINDOW FIN_S
WINID=%UgS% : ..."

```

Come si osserva il nome del parametro è posto nella posizione dell'ID del vetro, i cui dati sono allegati alla fine del file Building, e tali parametri, come definiti nel file di comando, variano tra valori di ID che corrispondono a vetri della prestazioni di progetto indicate nella definizione delle variabili per l'ottimizzazione.

Infine l'ultimo parametro è quello delle schermature esterne che viene modificato nella parte di file relativa alle zone termiche, in corrispondenza dei dati geometrici sugli infissi in corrispondenza degli elementi tecnici:

```
"* BUILDING
```

```
...
```

```
* Zone 162A / Airnode 162A
```

```
...
```

```
WALL =CV01 : SURF= 3 : AREA= 8.712 : EXTERNAL : ORI=E_270_90 : FSKY=0.5  
WINDOW=FIN_EW : SURF= 73 : AREA= 3.313 : EXTERNAL : ORI=E_270_90 :  
FSKY=0.5 : ESHADE=INPUT %ScherF%*SHADING
```

```
..."
```

Con questo è conclusa l'impostazione manuale dei file necessari al corretto funzionamento di Genopt; in seguito sono state svolte le simulazioni necessarie all'ottenimento dei dati, i cui risultati sono rielaborati e riportati di seguito.

### 5.3.6 RISULTATI DELL'OTTIMIZZAZIONE






Nelle pagine seguenti sono riportati i grafici riepilogativi del processo di ottimizzazione per gli otto modelli di studio definiti ad inizio capitolo.

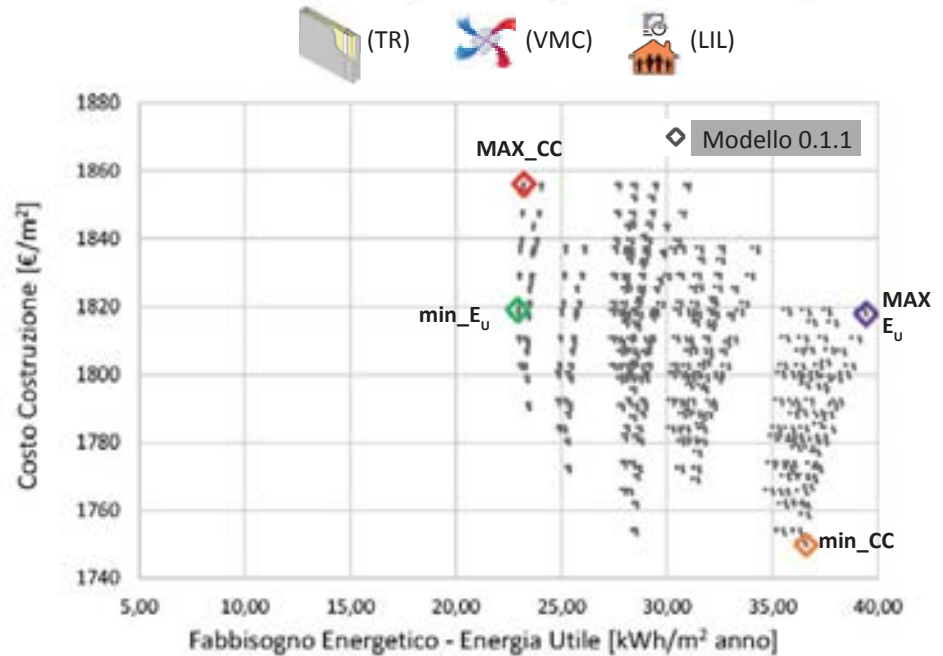
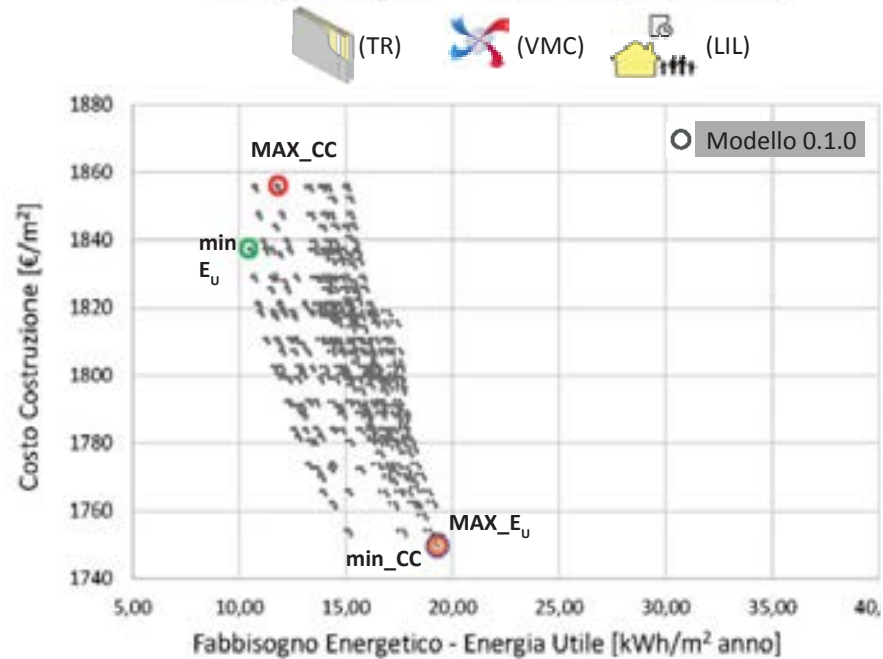
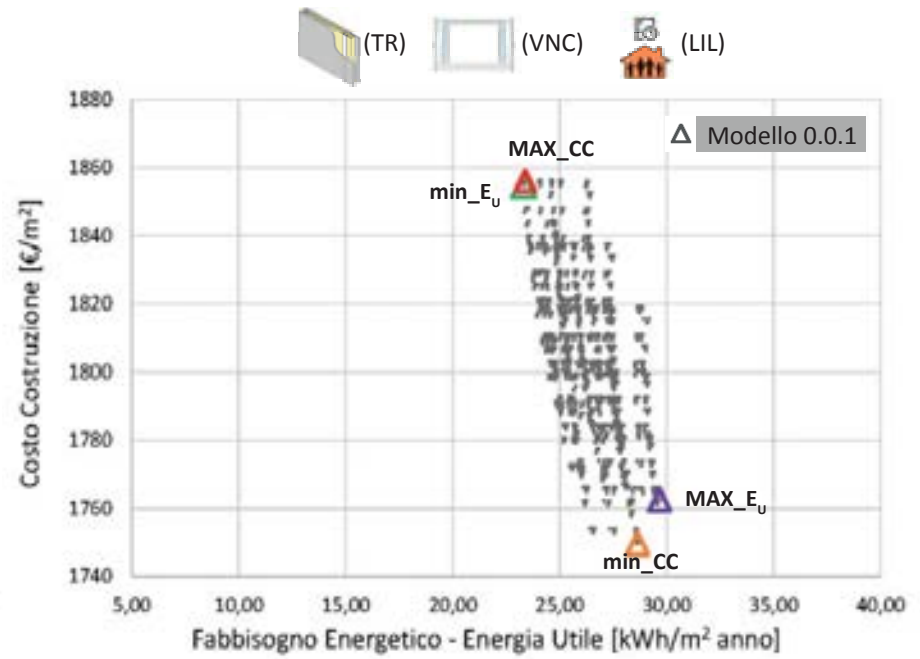
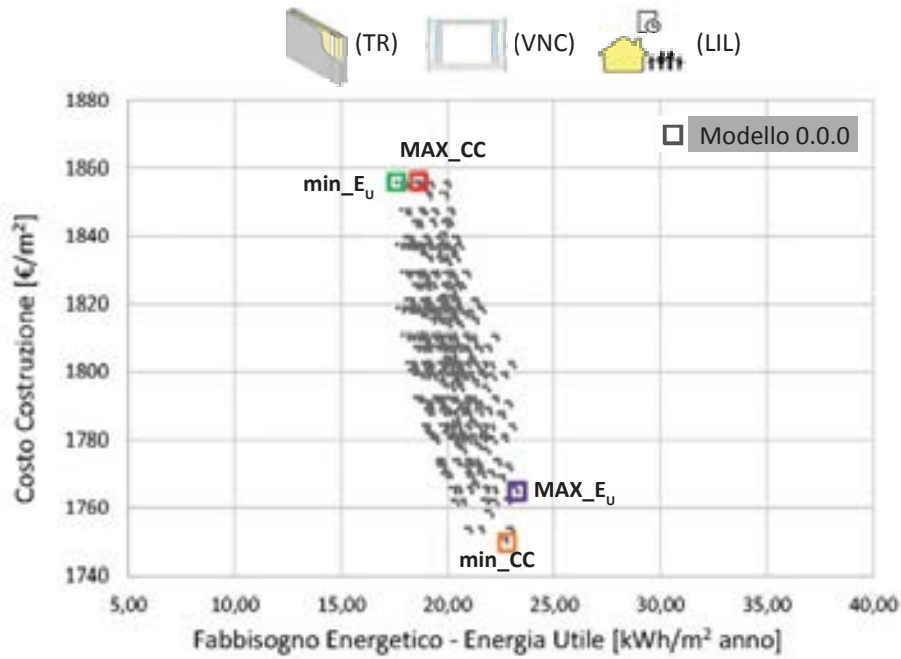
I risultati sono distribuiti secondo le due caratteristiche principali che interessano quest'analisi: in ascissa si trova in fabbisogno energetico in kWh/m<sup>2</sup>anno, mentre in ordinata vi sono i costi di costruzione in €/m<sup>2</sup>.

Si nota una distribuzione abbastanza compatta dei punti, con un miglioramento delle prestazioni energetiche contenuto rispetto al corrispondente aumento dei costi iniziali, ciò è dovuto al fatto che il livello di isolamento termico minimo rispetta le normative vigenti: il fattore incisivo diviene quindi la capacità termica interna, infatti si nota un considerevole abbassamento dei fabbisogni se si passa dalle soluzioni e partizioni interne isolate e quelle dalle partizioni interne massive.

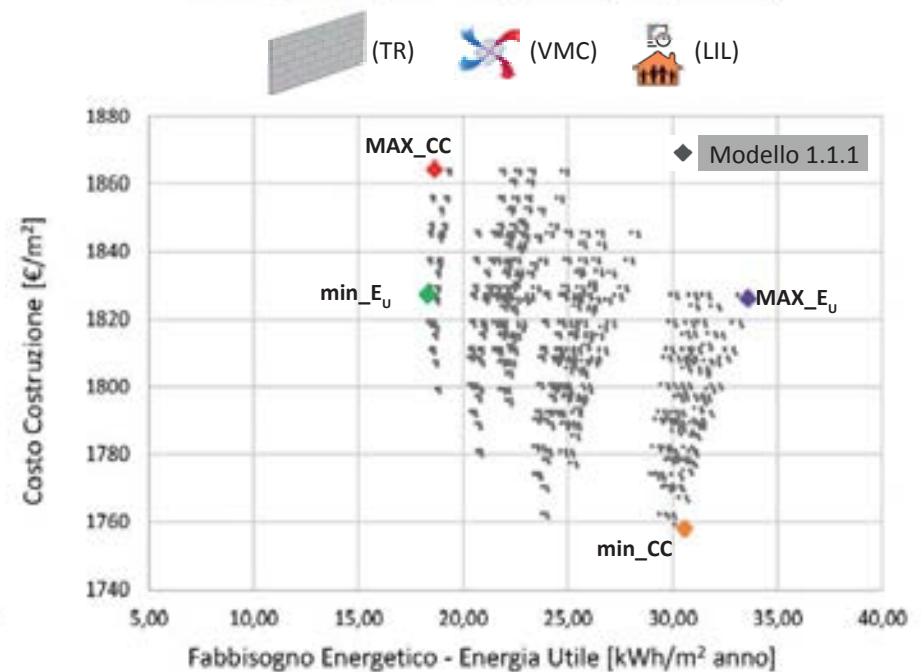
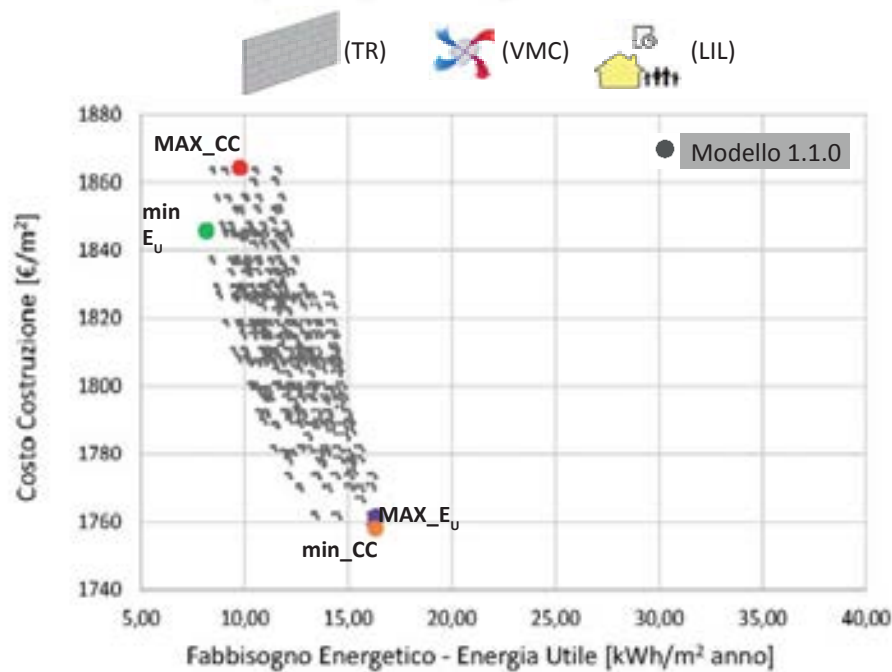
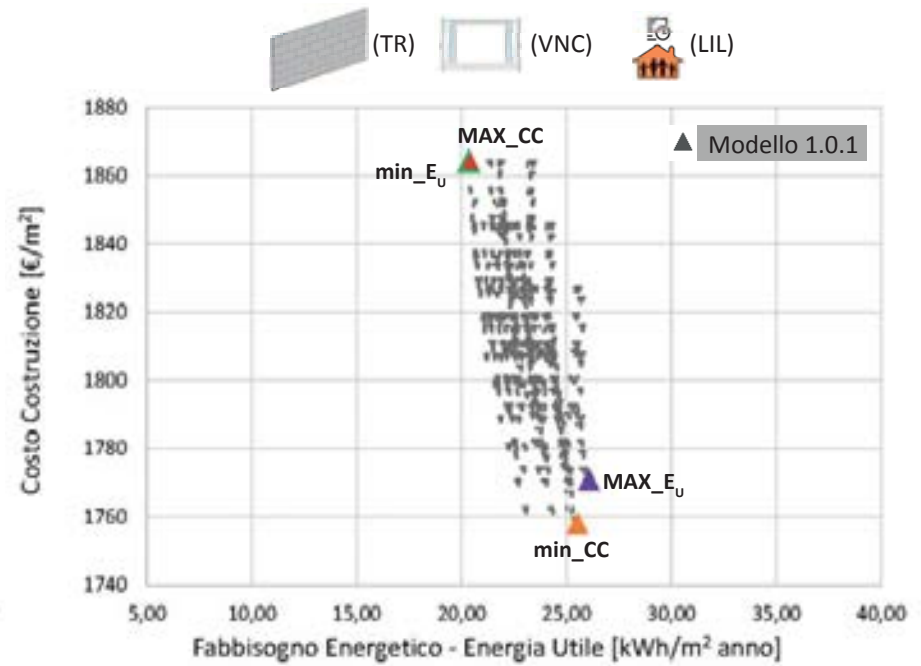
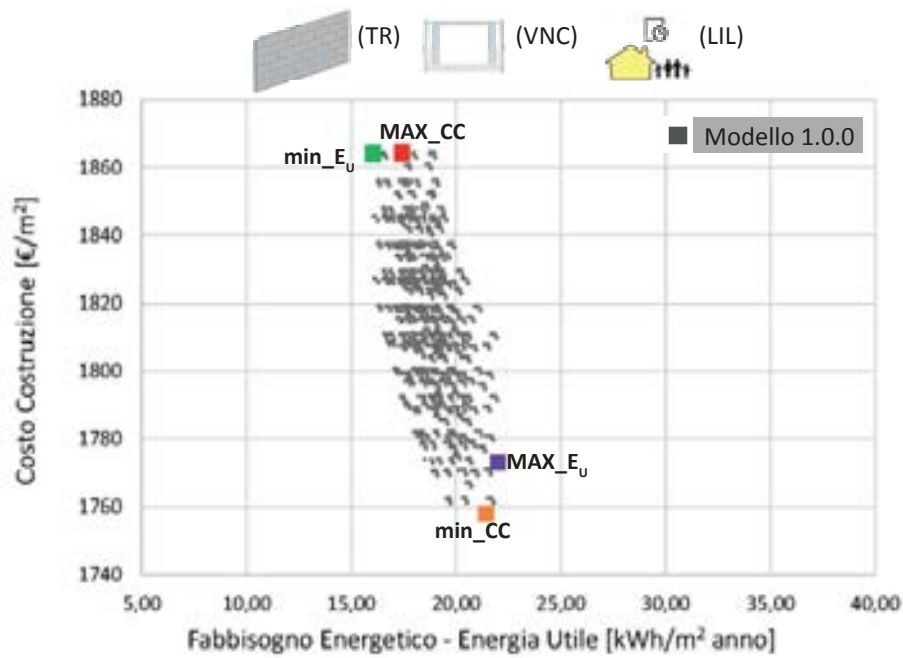
Nei grafici sono evidenziati i punti estremi di massimo e minimo sia per i costi che per il fabbisogno; in seguito si riporta un grafico di confronto tra i punti notevoli degli otto modelli, che evidenzia maggiormente le influenze della massa termica e del tipo di ventilazione, al varirare dei carichi interni.

#### LEGENDA COLORI PER I RISULTATI DELL'OTTIMIZZAZIONE

-  min\_EU - Soluzione a fabbisogno energetico minimo
-  min\_CC - Soluzione a costo di costruzione minimo
-  MAX\_EU - Soluzione a fabbisogno energetico massimo
-  MAX\_CC - Soluzione a costo di costruzione massimo
-  Distribuzione dei risultati delle simulazioni al variare dei parametri dell'ottimizzazione







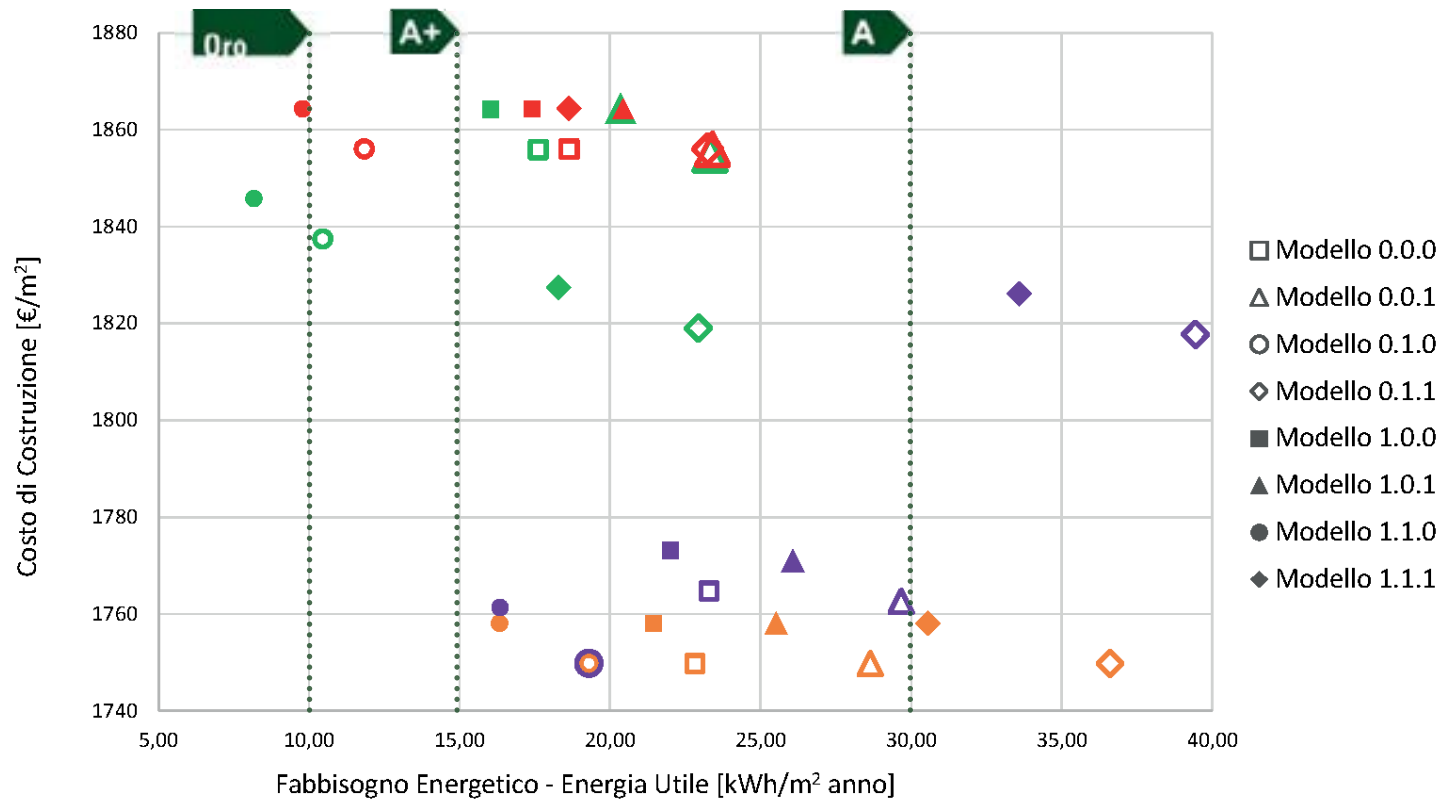


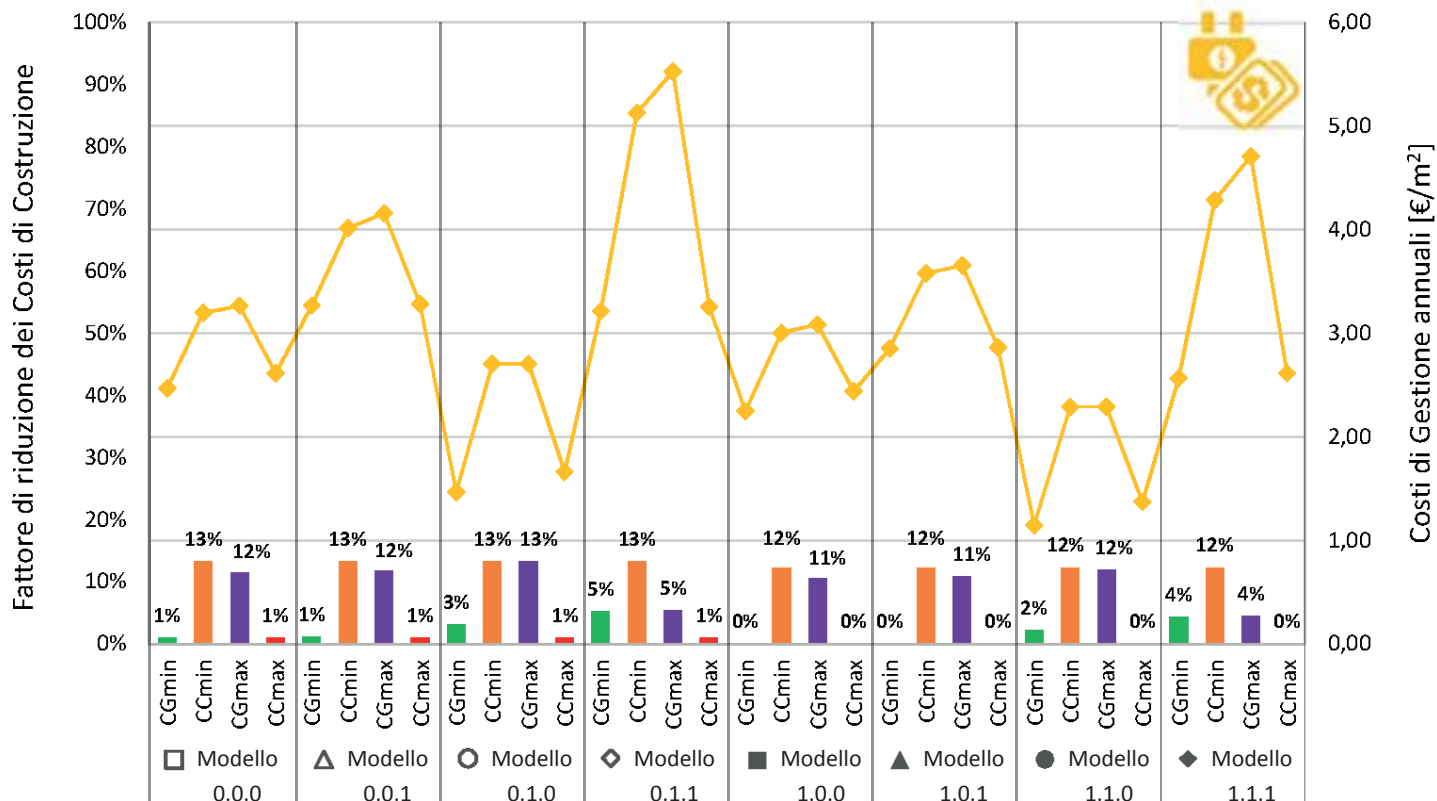
Fig.042 Grafico di riepilogo dei risultati dell'ottimizzazione

Dal grafico qui riportato si possono estrapolare le seguenti considerazioni:

- il fabbisogno energetico aumenta a fronte di carichi interni maggiori;
- la ventilazione naturale comporta una minore sensibilità del modello nei confronti della variazione dei carichi interni, con livelli prestazionali più uniformi;
- con la ventilazione meccanica e recupero di calore si ottengono i fabbisogni minori;

- la presenza di massa termica interna riduce in ogni caso il consumo energetico rispetto alla controparte con pareti interne isolate.

Infine si nota la discrepanza in termini di costi tra le soluzioni meno isolate in basso e quelle più isolate e più costose in alto del grafico.



Valori notevoli ottenuti dal processo di ottimizzazione per gli 8 modelli di studio

Fig.043 Rapporto tra riduzione dei costi di costruzione e costi di gestione

Nella parte a istogrammi del grafico sopra riportato si esprime la riduzione dei costi di costruzione, ottenuta per la particolare configurazione dell'edificio in esame, rispetto al caso a costo massimo rilevato: come si osserva le soluzioni dalle prestazioni energetiche migliori non permettono significative quote di risparmio rispetto alle soluzioni dalle prestazioni inferiori.

Dalla spezzata dei costi di gestione si osserva che non sempre le soluzioni più costose sono quelle dalle prestazioni migliori, questo permette di ottenere una soluzione a fabbisogno minimo con il valore dei costi di costruzione ottimizzato rispetto all'utilizzo delle tecnologie e dei materiali a disposizione nel modello di progetto.

Di seguito sono riportati i grafici a istogramma con la quantificazione dei consumi energetici, suddivisi per riscaldamento in rosso e raffrescamento in blu, nei quali si evidenzia come le soluzioni a ventilazione naturale richiedano molta meno energia per il raffrescamento, mentre le soluzioni a ventilazione meccanica richiedono meno energia per il riscaldamento.

Una maggiore capacità termica interna comporta una globale seppur contenuta riduzione dei consumi.

Da tali risultati si desume la struttura del modello ottimale di progetto, il quale prevede l'impiego di ventilazione meccanica con recupero di calore nel periodo invernale, mentre nel periodo estivo si favorisce una ventilazione naturale con controllo differenziale della temperatura.

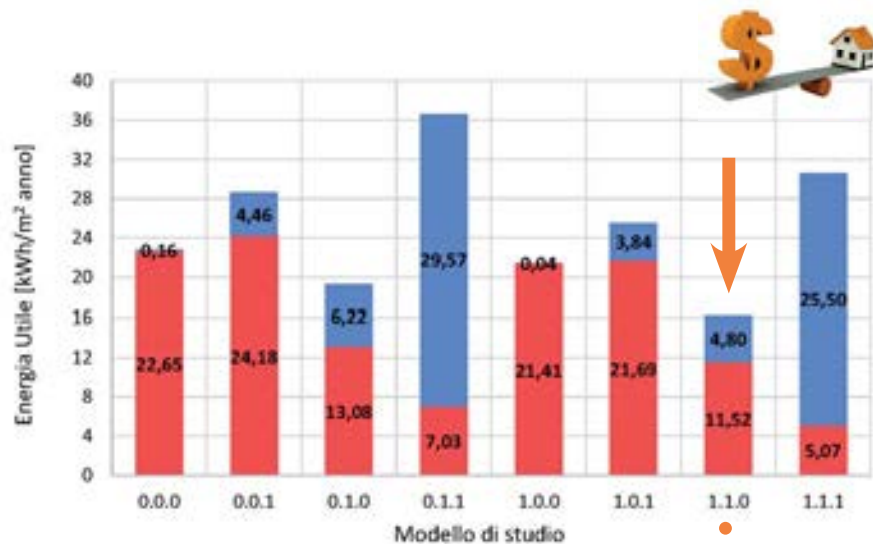


Fig.044 Fabbisogno per la climatizzazione delle soluzioni a costo di costruzione minimo

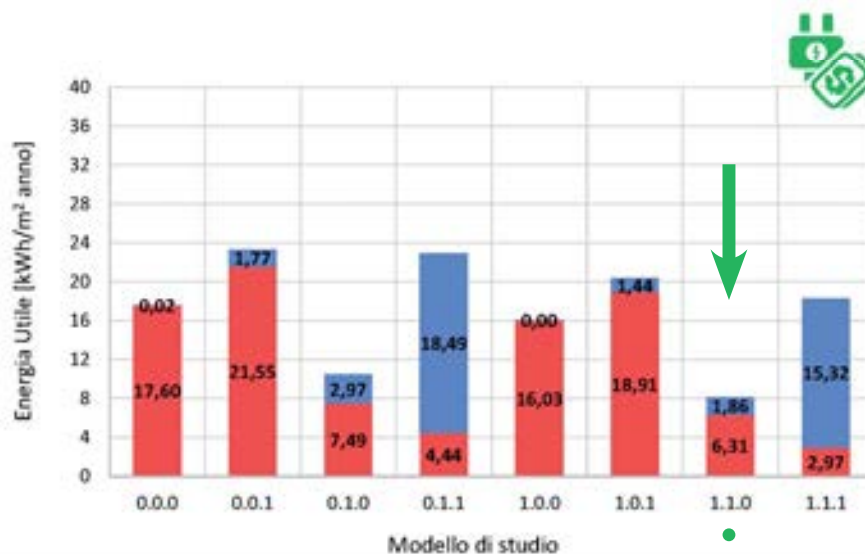


Fig.045 Fabbisogno per la climatizzazione delle soluzioni a consumo energetico minimo



Come si osserva dall'analisi riportata, il caso studio di riferimento relativo ad un edificio con partizioni interne massive, ventilazione meccanica con recupero di calore e carichi interni standard, in seguito ad un aumento dei costi di costruzione di circa il 10% si ottiene una riduzione del fabbisogno energetico di oltre il 50%.

### 5.3.7 COMFORT IGROTERMICO

Il progetto sviluppato fino ad ora ha avuto come obiettivo il raggiungimento di valori di fabbisogno energetico minimi, senza particolari controlli nei confronti del comfort igrotermico interno.

A tal fine si rende necessaria un'ulteriore analisi per correggere la funzione obiettivo utilizzata finora, in modo da tener conto delle condizioni igrotermiche interne rispettose dei parametri del comfort statico, come definiti dalla norma UNI EN ISO 7730; la cui base teorica è costituita dal modello di Fanger: uno dei primi studi intrapresi per descrivere quantitativamente i range di condizioni igrotermiche in cui le persone avvertono sensazioni confortevoli all'interno di qualsiasi edificio.

La condizione interna ottimale di un edificio è correlata a parametri quali: temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria; temperatura media radiante; caratteristiche del vestiario e tasso metabolico degli occupanti.

Il modello di Fanger può condurre i progettisti a definire una banda statica stretta di temperature accettabili, che devono essere verificate indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne.

Le temperature statiche sfavoriscono le tecnologie passive, efficaci nel moderare le fluttuazioni delle condizioni esterne, ma non in grado di disaccoppiarle completamente dall'ambiente interno.

Per questa ragione è preferibile applicare il modello di comfort adattivo che propone una correlazione tra la temperatura di comfort per gli occupanti di un edificio e la temperatura dell'aria esterna.

Alla base di tale modello vi è il processo per cui il corpo umano si adatta al clima stagionale e locale, di conseguenza gli occupanti considerano temperature interne diverse come confortevoli a seconda della stagione e della località.

Il modello adattivo si basa su rapporti misurati tra l'impressione soggettiva di comfort riferita a una popolazione statistica di utenti e la temperatura interna.

I limiti del comfort adattivo sono definiti dalla norma UNI EN ISO 15251, nella quale si distinguono tre categorie principali, riconducibili alle classi A,B,C della norma UNI EN ISO 7730.

Tali categorie sono ricavate correlando la temperatura operante interna con la *running mean ambient temperature*; quest'ultima tiene conto della storia climatica pregressa ed è stata calcolata giorno per giorno secondo la formula semplificata, specificata nella norma UNI EN ISO 15251 stessa:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{rm-1}$$

dove

$\theta_{rm}$  è la running mean ambient temperature del giorno in esame;

$\theta_{rm-1}$  è quella del giorno precedente;

$\theta_{ed-1}$  è la temperatura media esterna del giorno precedente;

$\alpha$  è un valore costante generalmente compreso tra 0 e 1, in particolare è stato usato il valore 0,8 raccomandato dalla norma.

Definito questo parametro di temperatura, è stato possibile calcolare il limite superiore, valido per temperature maggiori di 10°C, e quello inferiore, valido per temperature maggiori di 15°C, per le classi di comfort nominate in precedenza:

Category I	upper limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$
	lower limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 2$
Category II	upper limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$
	lower limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$
Category III	upper limit: $\theta_{i,max} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$
	lower limit: $\theta_{i,min} = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$

dove

$\theta_i$  è il valore di temperatura operante interna raggiunta dall'edificio oggetto di valutazione.



Al di sotto dei 10°C e dei 15°C, per i limiti superiori e inferiori rispettivamente, si considerano dei limiti di benessere statici, riportati di seguito come definiti nella norma UNI EN ISO 15251, in riferimento all'ambito residenziale.

Tab.009 Valori di design raccomandati per la temperatura interna dell'edificio

Tipologia funzionale	Categoria	Temperatura operativa [°C]	
		Minimo	Massimo
Edifici residenziali: locali interni	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
Indice metabolico: attività sedentaria 1,2 met	III	18,0	27,0

Per la definizione pratica delle categorie di comfort oggetto di analisi, si fa riferimento a quanto descritto nella Tabella 1 della norma UNI EN ISO 15251.

Tab.010 Valori di design raccomandati per la temperatura interna dell'edificio

Categoria	Definizione
I	Alti livelli di aspettativa di comfort consigliata per spazi occupati da persone fragili e sensibili con requisiti speciali, come disabili, malati, neonati e anziani
II	Livelli normali di aspettativa di comfort consigliata per nuove realizzazioni o per ristrutturazioni
III	Livelli moderati e accettabili di aspettativa di comfort di riferimento per edifici esistenti
IV	Valori fuori dai criteri delle categorie precedenti, accettabili solo per brevi e limitati periodi di tempo

Il modello adattivo generalmente definisce temperature di comfort maggiori e più flessibili rispetto al modello statico di Fanger; spesso è possibile rispettare i limiti di comfort adattivo utilizzando strategie di raffrescamento passivo, quali l'ombreggiamento delle finestre e la ventilazione notturna.

In questi casi, è possibile ridurre di molto il fabbisogno di raffrescamento diminuendo l'utilizzo di impianti meccanici e pertanto risulta vantaggioso valutare strategie di raffrescamento passivo.

Nei climi più caldi è tuttavia impossibile escludere del tutto l'impiego di climatizzazione meccanizzata; in questi casi i limiti di comfort adattivo, definiti precedentemente, non sono più utilizzabili allo stato attuale.

Rimane comunque la validità di un approccio adattivo nel dimensionamento di tecniche passive per la riduzione del carico termico estivo.

Di seguito si riporta il controllo delle temperature svolto sul modello dell'edificio privo di limitazioni termiche in relazione al comfort igrotermico interno diverse da quelle minime previste per le temperature minime invernali e quelle massime estive.

Si nota come, specialmente a causa dei guadagni solari, nelle stagioni intermedie si raggiungano temperature operative interne eccessivamente elevate, comportando ulteriori e gravosi dispendi energetici per ripristinare condizioni di comfort.

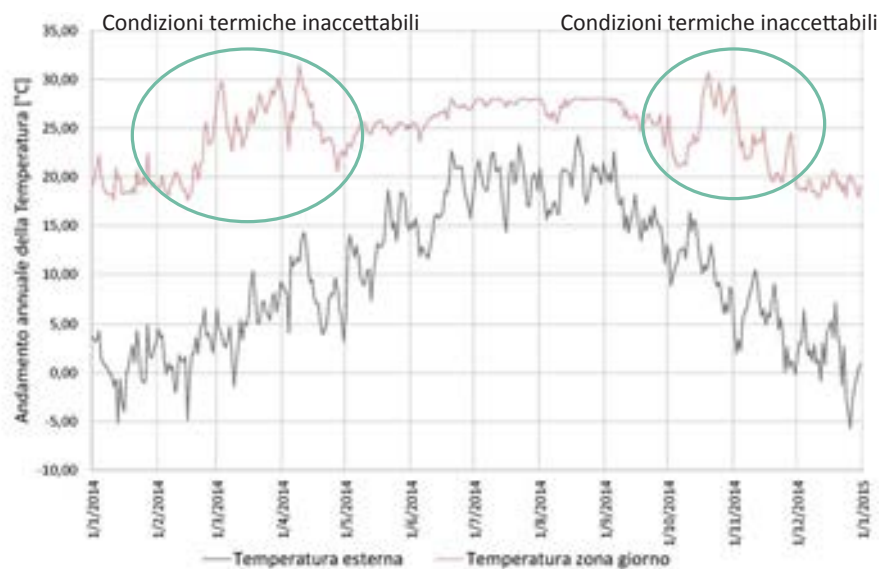


Fig.046 Temperatura interna del modello senza controllo del comfort

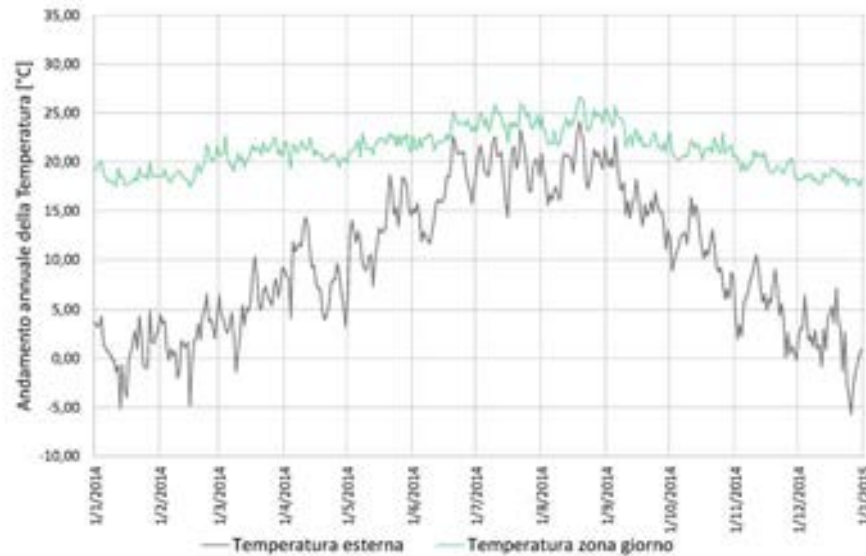


Fig.047 Temperatura interna del modello con controllo del comfort

In base alle analisi svolte il modello è stato modificato accettando un lieve peggioramento delle prestazioni energetiche, ma ottenendo di conseguenza dei livelli di comfort igrotermico per la quasi totalità dell'anno all'interno delle categorie più favorevoli, come si può osservare nei grafici di lato riportati e costruiti secondo le relazioni fornite dalla norma UNI EN ISO 15251 precedentemente enunciate.

Infine, la soluzione adottata è stata confrontata quantitativamente con il caso precedente, in particolare sono state conteggiate le ore dell'anno in cui la temperatura interna non rientra nelle prestabilite categorie di comfort per i due modelli; da questa valutazione è stato calcolato l'apporto aggiuntivo di energia necessaria a mantenere i locali a livelli accettabili di comfort per tutta la durata dell'anno.

Nella pagina seguente sono evidenziati i risultati di tale analisi.

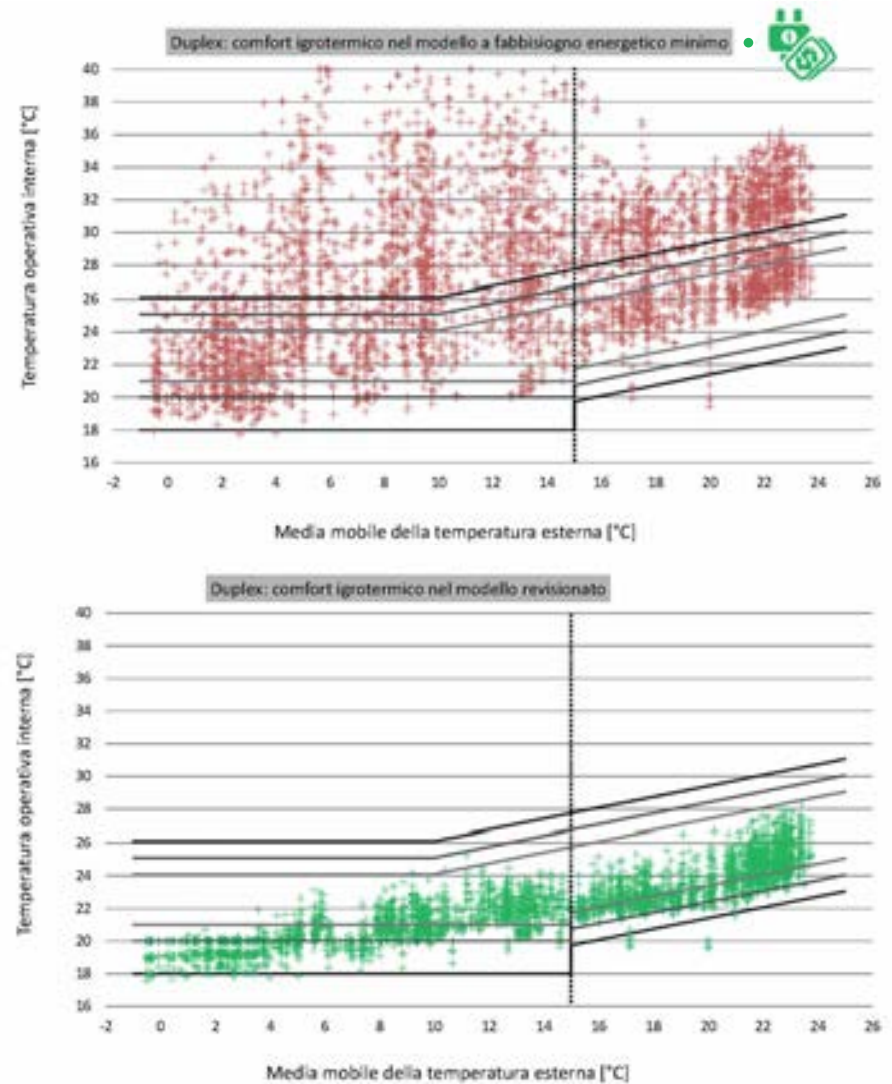


Fig.048 Valutazione qualitativa dei livelli di comfort igrotermico per i modelli di studio

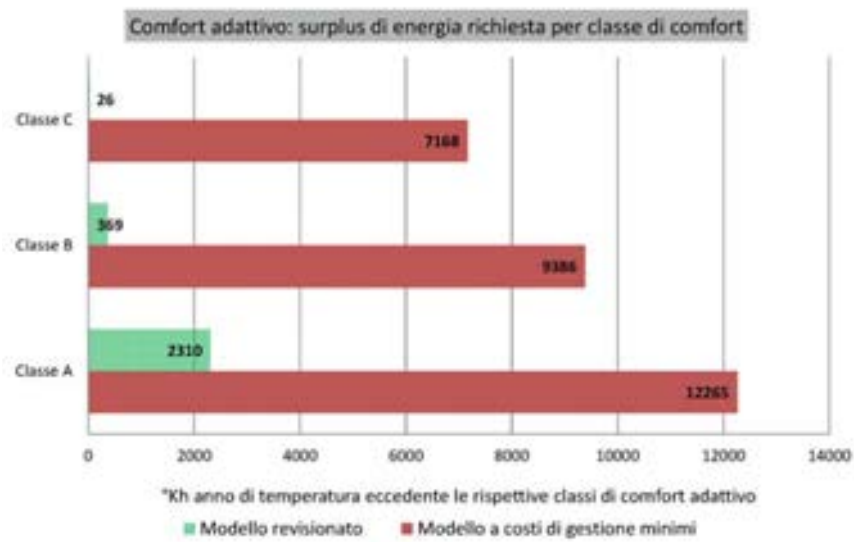


Fig.049 Gradi-ora annuali che non rientrano nelle classi di comfort considerate

Si nota come la soluzione trovata mediante la funzione obiettivo di minimizzazione dei consumi energetici, non tenendo conto della qualità termoigrometrica degli ambienti interni, comporta in realtà un considerevole dispendio di energia aggiuntiva, da parte degli utenti, per ripristinare condizioni accettabili di comfort.

In particolare, nel grafico a lato, si vede come un minimo aumento di dispendio energetico effettuato nel modello ottimizzato comporta nel complesso ad una effettiva riduzione dei consumi rispetto al caso iniziale.

Resta da verificare che l'ipotesi di una ventilazione naturale in grado di asportare i carichi termici interni, assunta a un valore di circa 3 volumi/ora, sia realistica nelle condizioni peggiori di flussi d'aria instaurati per solo differenziale di temperatura, in totale assenza di vento.

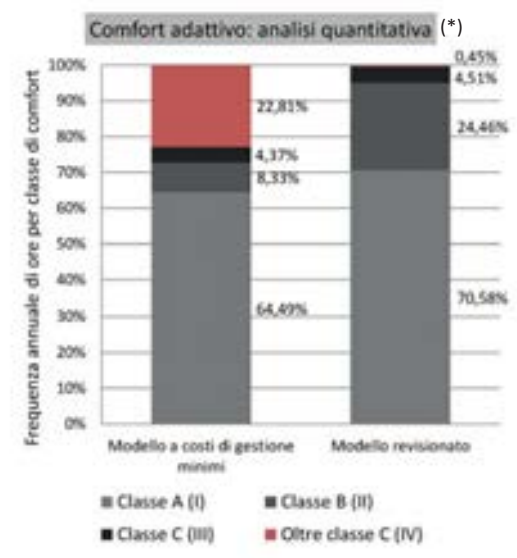


Fig.050 Percentuale di ore annue per classe di comfort

Aumento delle ore annuali in classe di comfort igrotermico:

+22% ✓

Verifica dei consumi energetici

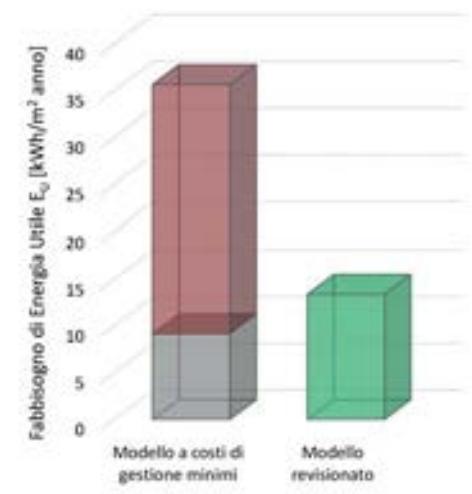


Fig.051 Confronto dei fabbisogni energetici tra modelli a consumo minimo e modello ottimale

Variazione reale del fabbisogno energetico:

-62% ✓

### 5.3.8 VENTILAZIONE NATURALE CONTROLLATA: VERIFICA

Per concludere la verifica del comportamento della soluzione progettuale ottenuta dal processo di ottimizzazione e relative raffinzioni della soluzione, si evidenzia la frequenza mensile di attivazione del sistema di ventilazione naturale, divisa per fasce orarie secondo le diverse ore del giorno.

Si ricorda che, per scelta di progetto, la ventilazione naturale controllata si attiva quando la temperatura interna è maggiore di 23°C e se il differenziale con la temperatura dell'aria esterna supera i 2°C, per poi spegnersi se la temperatura dell'aria interna scende sotto i 23°C o il differenziale risulta minore di 1°C.

Date le grandi superfici vetrate volte a garantire elevati livelli di soleggiamento interni e sufficienti guadagni solari invernali, è maggiore il bisogno di ventilazione estivo, sino alla situazione estrema in cui è necessario arieggiare anche durante le ore più calde del giorno.

In generale si conferma che l'intervallo migliore di apertura dell'involucro, per massimizzare il raffrescamento dovuto alla ventilazione naturale, è quello compreso tra le 23.00 e circa le 7.00.

Tale orario è da ritenersi valido qualora non si voglia ricorrere ad una ventilazione naturale controllata; in tal caso le prestazioni energetiche ottenute non sono ottimali.

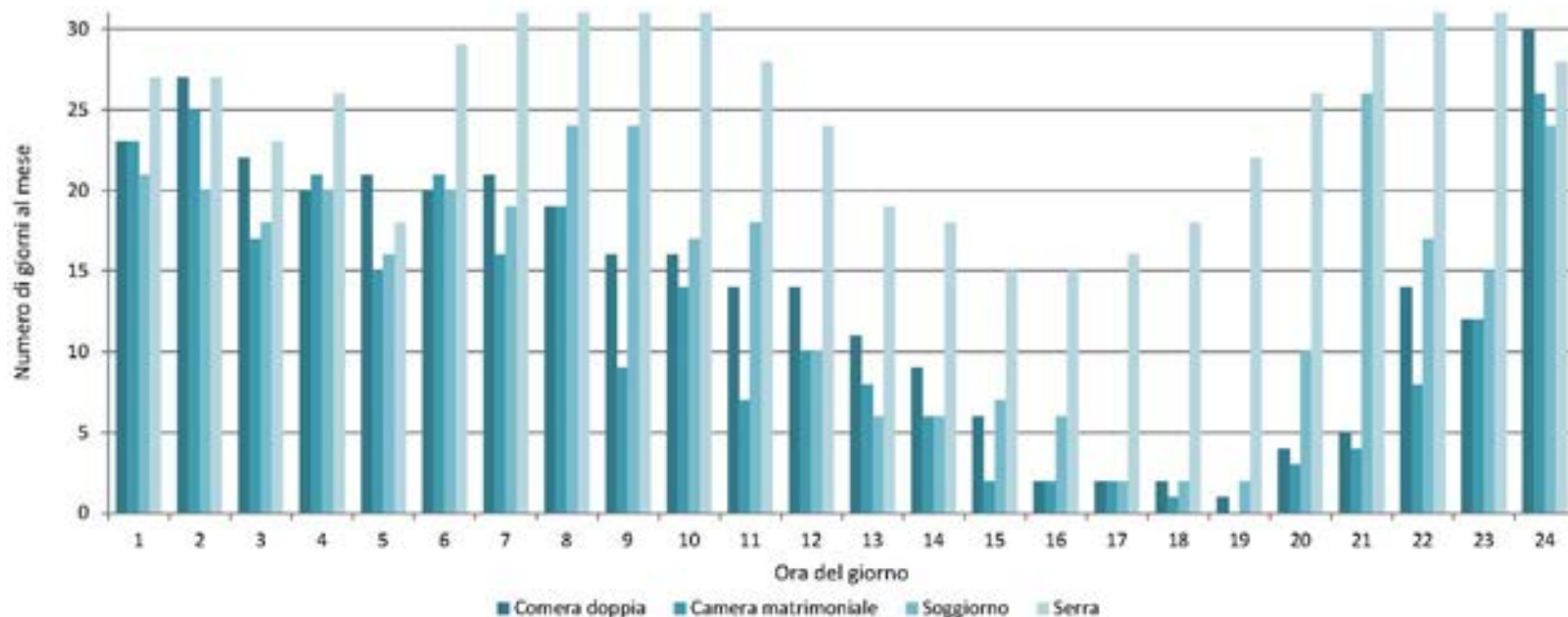


Fig.052 Ventilazione Naturale Controllata, frequenza di attivazione nel mese di luglio

Finora si è ipotizzato un valore pari a 3 ricambi orari per la ventilazione degli ambienti, considerando tale quantità come ottenibile senza l'impiego di impianti meccanizzati.

Di seguito si procede ad una verifica di questa supposizione, valutando se sia effettivamente possibile ottenere una portata d'aria idonea per solo effetto della differenza di temperatura tra esterno e interno.

Il metodo utilizzato fa riferimento ad un modello teorico semplificato di calcolo, NORMA, proposto nel libro "*Passive cooling of buildings*" nel capitolo Natural Ventilation: per il caso riferito ad una ventilazione dovuta ad una differenza di temperatura con aperture alla stessa altezza.

Dato che la residenza in esame è divisa internamente in ambienti non necessariamente comunicanti, il modello si può ricondurre al caso di ventilazione su singolo lato, in cui prevalgono gli effetti della stratificazione dell'aria e l'influenza del vento è assunta trascurabile.

Con queste premesse, la differenza di temperatura tra interno ed esterno genera una variazione di pressione che porta alla formazione di un flusso d'aria attraverso l'apertura.

Quando la temperatura interna supera quella esterna, l'aria fresca esterna entra dalla parte inferiore dell'infisso, mentre quella calda interna si disperde nell'atmosfera passando per la metà superiore del serramento.

I parametri che determinano il flusso sono quindi:

- l'area dell'apertura;
- la differenza di temperatura;
- l'altezza verticale dell'apertura stessa.

L'espressione analitica per il calcolo del flusso d'aria Q attraverso un'apertura, secondo il metodo NORMA, è la seguente:

$$Q = 790 * h^{3/2} * w * (DT / MT)^{1/2}$$

Tale formula che, divisa per il volume dell'ambiente in esame, restituisce i ricambi orari d'aria, si calcola secondo 13 steps:

1. definizione dell'altezza dell'apertura h come distanza tra gli estremi inferiore e superiore;
2. definizione della larghezza dell'apertura w;
3. definizione del volume dello spazio ventilato;
4. la data di verifica specifica quali risultati della simulazione sono stati utilizzati nel calcolo;
5. DTA, la temperatura esterna presa a riferimento, in questo caso relativa alla data di verifica;
6. TA, temperatura dell'aria interna stimata, sempre relativa alla data di verifica;
7. MT, temperatura media, ovvero la media tra DTA e TA;
8. DT, differenza media, ovvero il valore assoluto della differenza DTA-TA;
9. RT, rapporto di temperatura, calcolato come DT/MT;
10. determinare la radice quadrata di RT;
11. determinare la potenza di h con esponente 3/2;
12. si ricava il valore del flusso d'aria Q come prodotto di 790 per gli step 2,10 e 11;
13. sommando i flussi dovuti alle singole aperture e dividendo il tutto per il volume dello spazio ventilato, si ricava infine il numero di ricambi orari d'aria ACH.

Di seguito si riportano i grafici relativi all'andamento delle temperature interna ed esterna nel giorno più caldo dell'anno, specificando in tabella i valori orari assunti da tali temperature.

Utilizzando tali valori si eseguono i calcoli della ventilazione naturale ottenibile, con conseguente verifica delle ipotesi progettuali.





GIORNO CRITICO ESTIVO: 9 LUGLIO

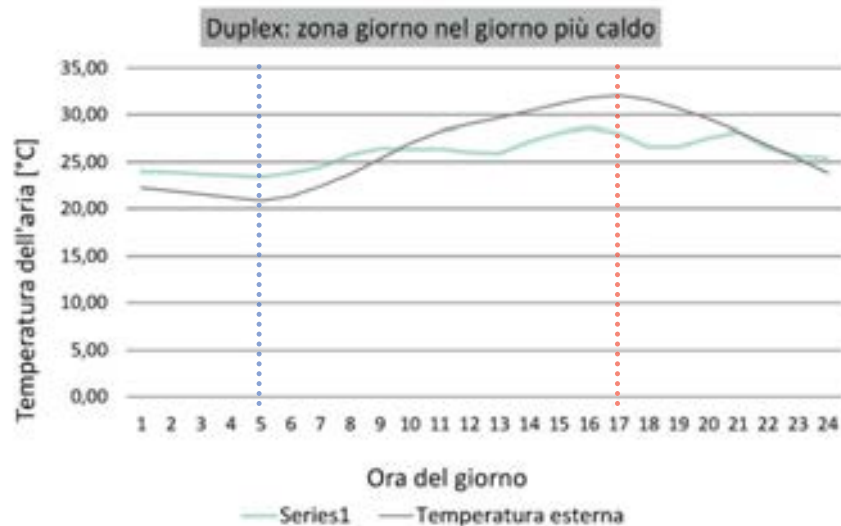


Fig.053 Temperature nel giorno più caldo, Zona Giorno

Tab.011 Valori minimi e massimi della temperatura con calcolo dell'attenuazione

Minime	Ore 5	Massime	Ore 17
T esterna [°C]	20,85	T esterna [°C]	32,05
T interna [°C]	23,40	T interna [°C]	28,02
Attenuazione	+2,55	Attenuazione	-4,03

Si osserva come l'inerzia termica dell'edificio consenta di mantenere una temperatura interna più bassa di quella esterna durante le ore più calde del giorno.

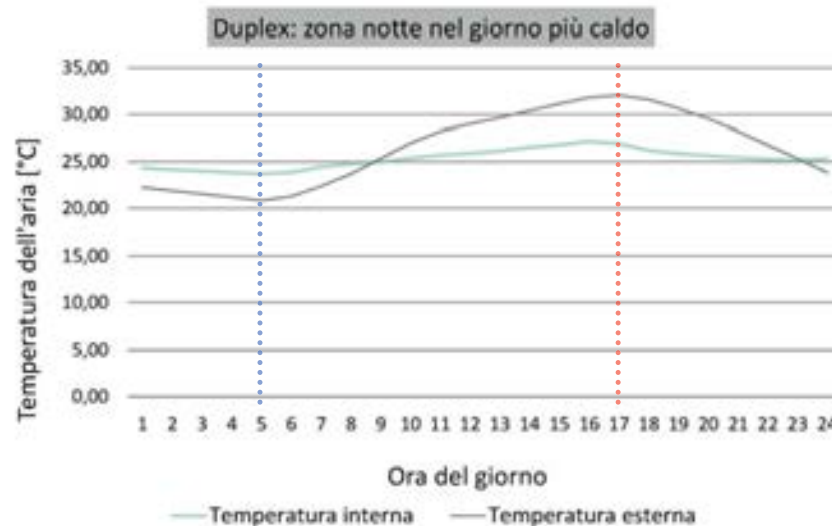


Fig.054 Temperature nel giorno più caldo, Zona Notte

Tab.012 Valori minimi e massimi della temperatura con calcolo dell'attenuazione

Minime	Ore 5	Massime	Ore 17
T esterna [°C]	20,85	T esterna [°C]	32,05
T interna [°C]	23,70	T interna [°C]	26,98
Attenuazione	+2,85	Attenuazione	-5,07

Durante la notte il calore accumulato contribuisce a mantenere livelli di temperatura quasi costanti, permettendone l'asportazione con ventilazione naturale senza disagi per un eccessivo raffreddamento dei locali.

Tab.013 Valori orari delle temperature nel giorno più caldo: 9 luglio

Orario del giorno	T esterna [°C]	T interna [°C]	ΔT [°C]
1:00	22,25	23,97	1,72
2:00	21,90	23,90	2,00
3:00	21,55	23,70	2,15
4:00	21,20	23,57	2,37
5:00	20,85	23,40	2,55
6:00	21,30	23,83	2,53
7:00	22,40	24,43	2,03
8:00	23,70	25,74	2,04
9:00	25,35	26,46	1,11
10:00	27,00	26,34	0,66
11:00	28,25	26,40	1,85
12:00	29,00	26,02	2,98
13:00	29,65	25,90	3,75
14:00	30,40	27,18	3,22
15:00	31,15	28,10	3,05
16:00	31,80	28,67	3,13
17:00	32,05	28,02	4,03
18:00	31,60	26,62	4,98
19:00	30,65	26,61	4,04
20:00	29,55	27,55	2,00
21:00	28,25	28,16	0,09
22:00	26,80	26,45	0,35
23:00	25,35	25,63	0,28
24:00	23,85	25,43	1,58

Dall'osservazione dell'andamento della differenza tra le temperature interna ed esterna si cerca il caso peggiore ai fini della valutazione dei ricambi d'aria secondo il metodo NORMA; tuttavia in relazione alle ore tra le 21:00 e le 23:00 si sottolinea che, trovandosi in quasi parità di temperature, non ci si aspetta la presenza di significativi ricambi d'aria, proprio perchè la temperatura interna ha raggiunto il suo picco e, in seguito all'apertura delle finestre, inizia a scendere di pari passo con quella dell'aria esterna.

Pertanto ai fini del calcolo effettivo della portata di ricambio d'aria per l'asportazione dei carichi interni si considera il valore del differenziale di temperatura quando quest'ultimo supera almeno la soglia utile di 1°C.

Di seguito si riportano i passaggi della verifica effettuata, con un risultato finale che conferma quanto supposto in precedenza: con almeno 1°C di differenziale di temperatura si instaura un ricambio d'aria di più di 3 vol/h.

Tab.014 Verifica della ventilazione secondo il metodo NORMA

Verifica NORMA per il locale soggiorno			
Altezza efficace dell'apertura	h	[m]	1,50
Larghezza efficace dell'apertura	w	[m]	1,20
Volume del locale da ventilare	V	[m <sup>3</sup> ]	101,00
Periodo di verifica		9 luglio, ore 24:00	
Temperatura dell'aria esterna	DTA	[°C]	23,85
Temperatura dell'aria interna	TA	[°C]	25,43
Media delle temperature	MT	[°C]	24,64
Differenza delle temperature	DT	[°C]	1,58
Rapporto tra la differenza e la media	RT	[-]	0,06
Radice quadrata del rapporto	RT <sup>1/2</sup>	[-]	0,25
Radice quadrata del cubo dell'altezza	h <sup>3/2</sup>	[m <sup>3/2</sup> ]	1,8
Flusso d'aria calcolato	Q	[m <sup>3</sup> /h]	441,02
Ricambi orari	ACH	[vol/h]	<b>4,37</b>

## 5.4 SCHEMATIC DESIGN

I criteri utilizzati durante le fasi di progettazione sono stati focalizzati sul contenimento dei consumi energetici di edifici, ottenibili, come precedentemente enunciato, mediante:

- la conservazione dell'energia, con iperisolamento ed elevata inerzia termica, controllo dei ponti termici e della ventilazione;
- lo sfruttamento della radiazione solare;
- il raffrescamento mediante strategie di adattabilità dell'involucro edilizio, con protezione dall'irraggiamento solare, inerzia termica e ventilazione naturale;
- la massimizzazione dell'illuminazione naturale attraverso un adeguato posizionamento e dimensionamento delle chiusure trasparenti.

Gli studi sulla qualità dell'aria delle grandi città hanno rilevato che il riscaldamento degli edifici tramite combustibili fossili è la causa principale dell'elevato inquinamento dell'aria.

Pertanto è necessario un nuovo modo di progettare e costruire gli edifici, che preveda una maggiore enfasi dei rapporti dell'edificio con l'ambiente esterno e dei materiali impiegati, che vengono vagliati dal duplice punto di vista dello sfruttamento delle energie rinnovabili e della sostenibilità, in relazione alla produzione ed all'impiego degli stessi.

Lo sfruttamento degli apporti gratuiti consente di ridurre sensibilmente il fabbisogno energetico dell'edificio; si progettano le stesse forme edilizie per captare, dissipare, accumulare e schermare l'energia termica della radiazione solare.

Ampie finestrate caratterizza da vetrazioni ad elevate prestazione termiche e luminose, dotate di sistemi di oscuramento automatizzati, permettono di sfruttare al meglio la luce e il calore solare, minimizzando le dispersioni verso l'esterno: a questo scopo è sempre più diffuso l'impiego di serre bioclimatiche opportunamente dimensionate.

### 5.4.1 STRATEGIE PER L'INVOLUCRO

#### INVERNALE

Nella stagione invernale si considera un comportamento dell'edificio di tipo stazionario grazie alla sostanziale uniformità delle condizioni climatiche esterne: pertanto è richiesta all'involucro prevalentemente una caratteristica di resistenza termica al fine di diminuire le dispersioni verso l'esterno e, conseguentemente, l'utilizzo di energia per il riscaldamento.

Si devono altresì ottimizzare le dimensioni delle aperture vetrate al fine di trovare un equilibrio tra le maggiori dispersioni termiche rispetto agli elementi opachi e gli apporti solari gratuiti.

Nell'ambito della residenza, al fine di sfruttare al massimo gli apporti solari per la diminuzione del fabbisogno energetico, si è scelto di realizzare delle serre bioclimatiche in corrispondenza del fronte sud: in modo da sfruttare a pieno il calore trasmesso degli ambienti retrostanti, mentre quello accumulato dall'elemento opaco di chiusura, opportunamente dimensionato, viene rilasciato durante le ore notturne per mantenere una temperatura interna vicina a livelli di comfort anche senza l'utilizzo di impianti di riscaldamento.

L'alberatura a foglia caduca, in questa stagione lascia liberamente passare i raggi solari senza diminuire così la radiazione sfruttabile dall'edificio

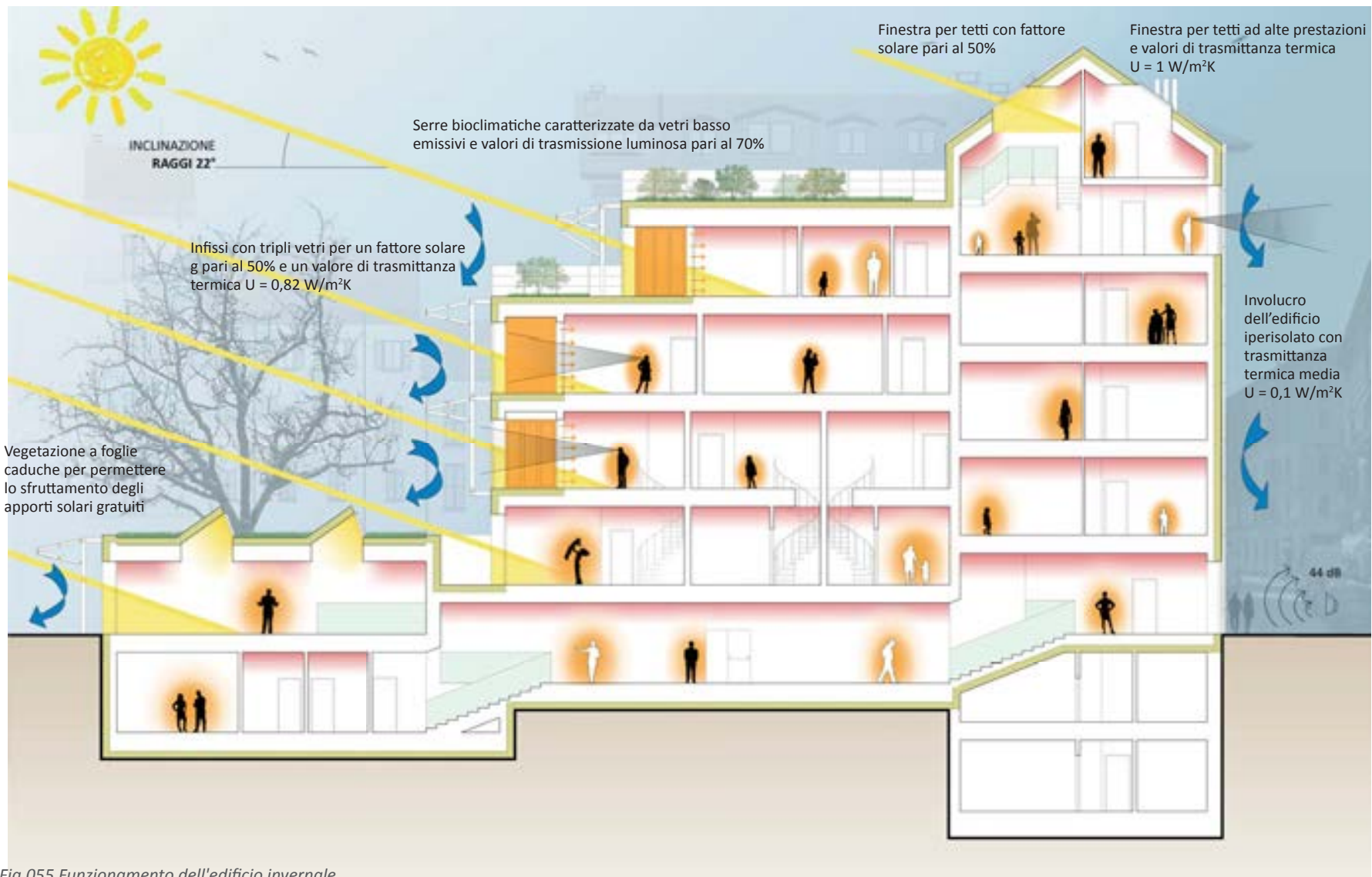


Fig.055 Funzionamento dell'edificio invernale

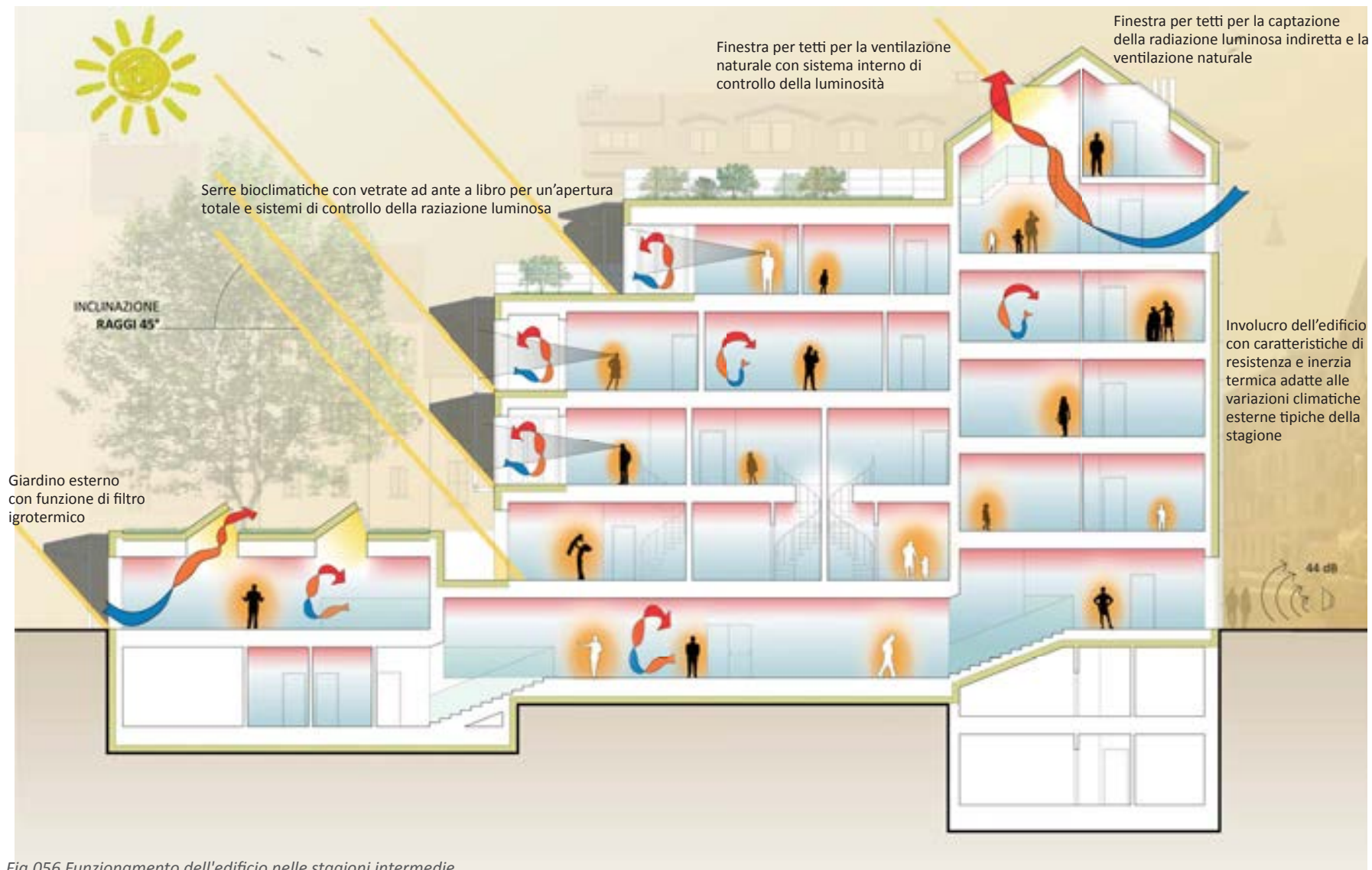


Fig.056 Funzionamento dell'edificio nelle stagioni intermedie



## STAGIONI INTERMEDIE

Durante la stagione intermedia viene messa alla prova la capacità dell'edificio di adattarsi alle variazioni climatiche esterne; le temperature esterne oscillano anche rapidamente tra valori al di sotto dei 18 °C e valori anche superiori ai 24 °C.

Pertanto viene fatto affidamento sulle caratteristiche di inerzia termica dell'involucro per il mantenimento di condizioni stazionarie di comfort interno.

L'altezza solare, assumendo valori intermedi rispetto alle stagioni estreme, porta ad avere una radiazione incidente che è in grado di penetrare parzialmente le schermature fisse.

Essa non è sufficiente a creare situazioni di discomfort termico, tuttavia può provocare forti variazioni di luminanza all'interno degli ambienti, causando un elevato grado di discomfort visivo: per ovviare a ciò si ricorre all'utilizzo di sistemi di controllo della luce solare regolabili dall'utenza.

In queste stagioni l'alberatura presente nella corte giardino è dotata di una quantità sufficiente di fogliame, il quale è in grado di contribuire alla diminuzione di fenomeni di abbagliamento sia per quanto riguarda gli ambienti della Bottega dell'Arte, sia relativamente all'ambiente esterno della Caffetteria, con particolare riguardo alla transazione dalla via Palermo verso la corte interna.

## PROTEZIONE SOLARE

Una delle principali problematiche proprie delle stagioni intermedie e in particolare di quella estiva, e in inverno limitatamente a fenomeni di abbagliamento, è il controllo della radiazione solare incidente.

Sebbene in estate la radiazione diretta abbia un angolo di incidenza maggiore di 60°, che ne comporta facili riflessioni e schermature, essa è comunque sufficiente a generare il surriscaldamento dei locali.

Per questo motivo sono di fondamentale importanza i sistemi di ombreggiamento, sia fissi che regolati dall'utenza.

Tuttavia le schermature fisse, per quanto attentamente progettate, raramente sono sufficienti a garantire sia la protezione estiva che una buona captazione invernale; pertanto si prevedono nel progetto elementi regolabili che garantiscono in ogni caso una componente fissa di ombreggiamento.

Come schermature mobili vi sono sia sistemi interni che esterni alla superficie trasparente, tuttavia la radiazione, particolarmente in estate, deve essere bloccata sul lato esterno, altrimenti non si potrebbe in alcun modo prevenire l'instaurarsi dell'effetto serra.

Le tende interne sono da utilizzare solamente ai fini del controllo dei fenomeni di abbagliamento; un discorso analogo vale per i serramenti con doppio vetro ed elementi opacizzanti ad intercapedine.

In conclusione i sistemi di controllo della radiazione luminosa sono efficaci per la prevenzione del discomfort termico e luminoso nei locali interni, ma possono anche inficiare la ventilazione naturale degli stessi.

## ESTIVO DIURNO

Al fine di minimizzare il fabbisogno di energia dell'edificio perseguendo standard elevati di comfort igrotermico al suo interno si deve progettare un involucro in grado di adattarsi al cambiamento delle condizioni climatiche esterne: nella stagione invernale si punta a ridurre il più possibile le dispersioni termiche massimizzando al tempo stesso i guadagni solari.

Per questo motivo si cercherà di ottenere valori di trasmittanza termica molto bassi, sotto la soglia di  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  per gli elementi opachi e sotto il valore minimo previsto dal D.M. 11 marzo 2008, ovvero  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , per gli elementi vetrati; in particolare si cercherà di scegliere infissi con valori di trasmittanza termica prossimi a  $0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Gli infissi esposti alla luce solare dovranno altresì avere valori di fattore solare il più alti possibile, nell'ottica di ottimizzazione degli apporti solari gratuiti; tale caratteristica sarà tuttavia controproducente nella stagione estiva e pertanto questi stessi elementi vetrati dovranno essere opportunamente schermati all'esterno con elementi fissi o mobili opportunamente dimensionati in base alle altezze solari tipiche della collocazione geografica dell'area oggetto di intervento.

Sempre per la situazione estiva saranno richiesti all'involucro non solo valori di attenuazione molto bassi e di sfasamento ottimale maggiore di 13 ore, ma soprattutto valori di capacità termica periodica interna il più elevati possibile al fine di realizzare una sorta di volano igrotermico interno; in grado di accumulare i carichi termici prodotti dall'utenza nelle ore diurne durante le quali non è possibile ventilare a meno di rendere totalmente inefficace la potenziale protezione del calore offerta dall'involucro.

## ESTIVO NOTTURNO

In questa stagione la strategia ottimale è pertanto quella di rallentare l'aumento di temperatura interna dell'edificio mantenendola entro parametri di comfort igrotermico il più a lungo possibile senza l'utilizzo di impianti di raffrescamento energivori; idealmente fino alle ore notturne durante le quali la temperatura esterna scende a livelli accettabili ed è quindi possibile ventilare naturalmente in modo da favorire l'asportazione del calore accumulato durante il giorno.

Pertanto anche la posizione delle aperture dovrà essere studiata, oltre che per realizzare un adeguato livello di illuminamento degli ambienti, anche per favorire la ventilazione naturale dell'edificio seguendo le direzioni dei venti dominanti e dei differenziali di pressione e temperatura, la formazione di questi ultimi può anche essere opportunamente agevolata dalla forma stessa della costruzione.

Nonostante la presenza di falda acquifera a pochi metri di profondità si è scelto di non ricorrere all'utilizzo di energia geotermica date le problematiche di inquinamento dei suoli in ambito cittadino, per quanto riguarda i sistemi ad acqua, e date le problematiche di rischio biologico da fenomeni di condensa, per i sistemi ad aria; la risoluzione di queste questioni comporta oneri di costruzione che probabilmente non sarebbero ripagati dai benefici ottenibili per un edificio di piccole dimensioni.

Chiusura dell'involucro durante il giorno con accumulo interno dei carichi termici dell'utenza, apertura nelle ore notturne con dissipazione del calore velocizzata dai differenziali di temperatura e pressione che si vengono a creare tra interno ed esterno dell'edificio.

In particolare la struttura su piani comunicanti dell'attico favorisce la ventilazione naturale grazie ad un'asportazione verticale dell'aria interna ottenuta grazie alla presenza di lucernari posti in vicinanza al colmo della copertura.

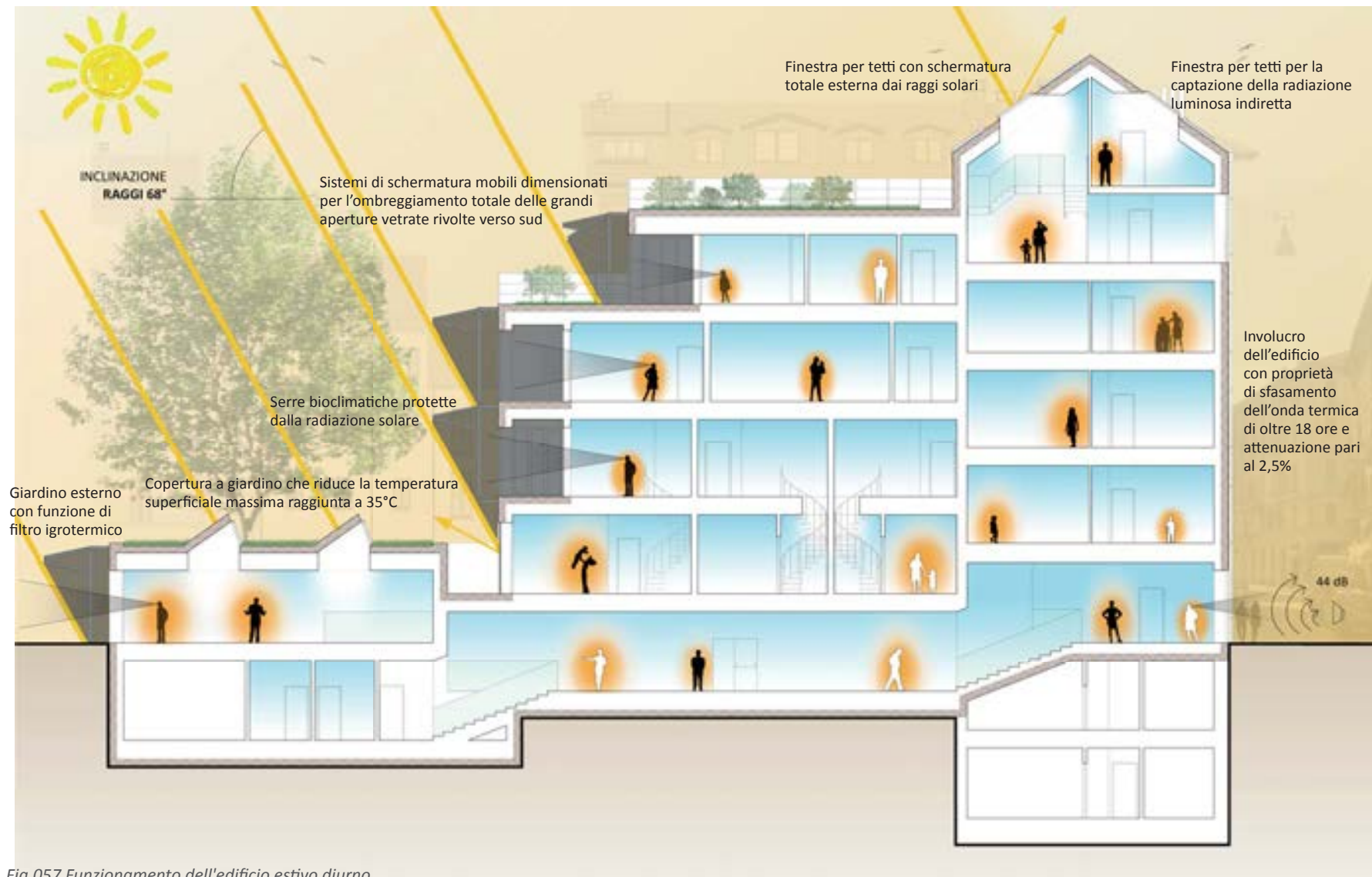


Fig.057 Funzionamento dell'edificio estivo diurno

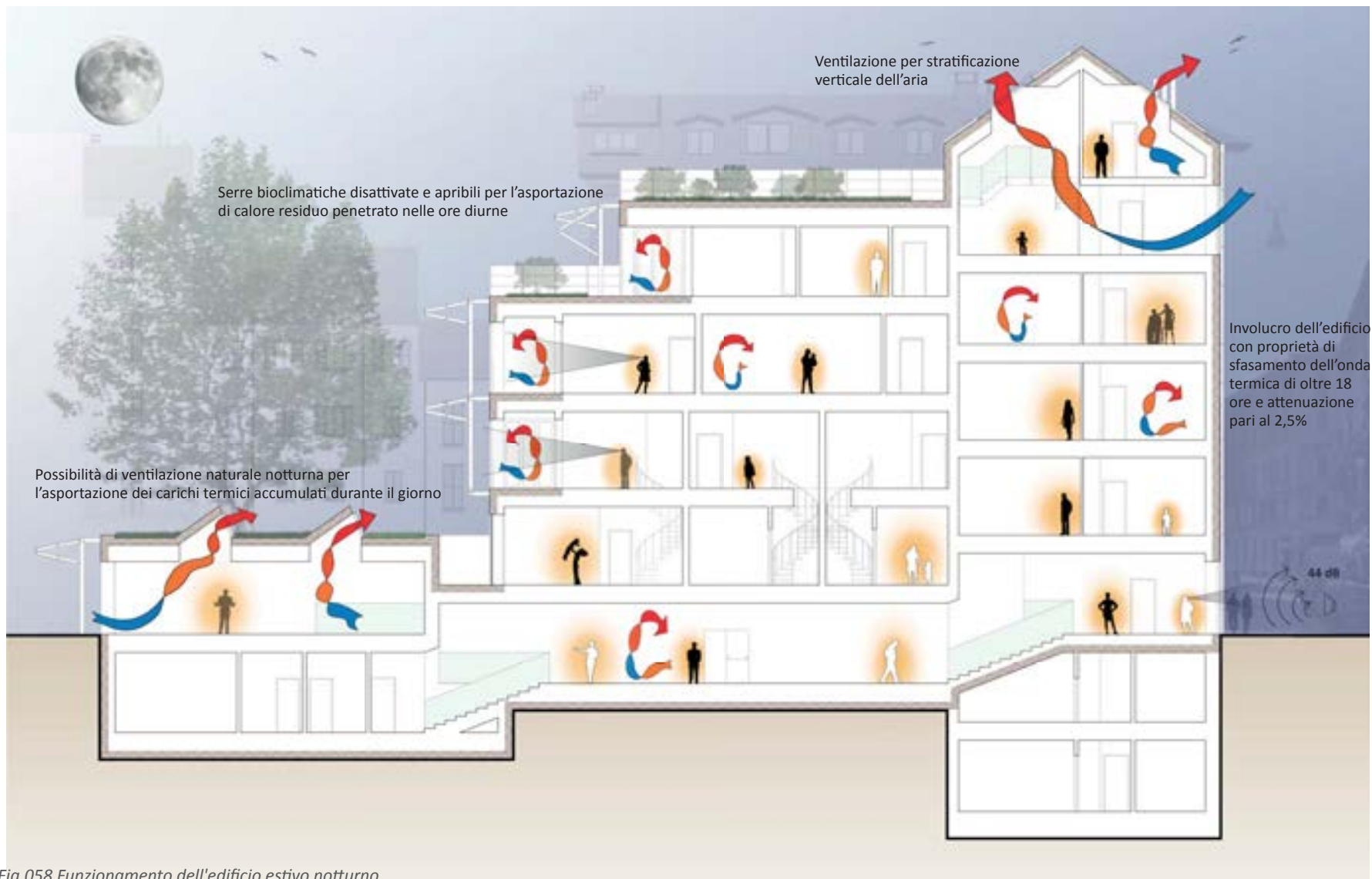


Fig.058 Funzionamento dell'edificio estivo notturno

#### 5.4.2 LE SERRE BIOCLIMATICHE

Dall'immagine di fianco riportata è possibile intuire il funzionamento della serra bioclimatica: per prima cosa essa è costituita da infissi ad alte prestazioni di isolamento termico, diventando parte integrante dell'involucro dell'edificio.

A questo proposito si è scelto un sistema di infissi in PVC-alluminio con triplo vetro basso emissivo che portano ad avere un valore di trasmittanza termica globale della serra pari a  $U = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Inoltre come caratteristica insita del funzionamento della serra è richiesto un valore elevato del fattore solare dei vetri, in questo caso il vetro scelto ha un valore di  $g$  pari al 60%.

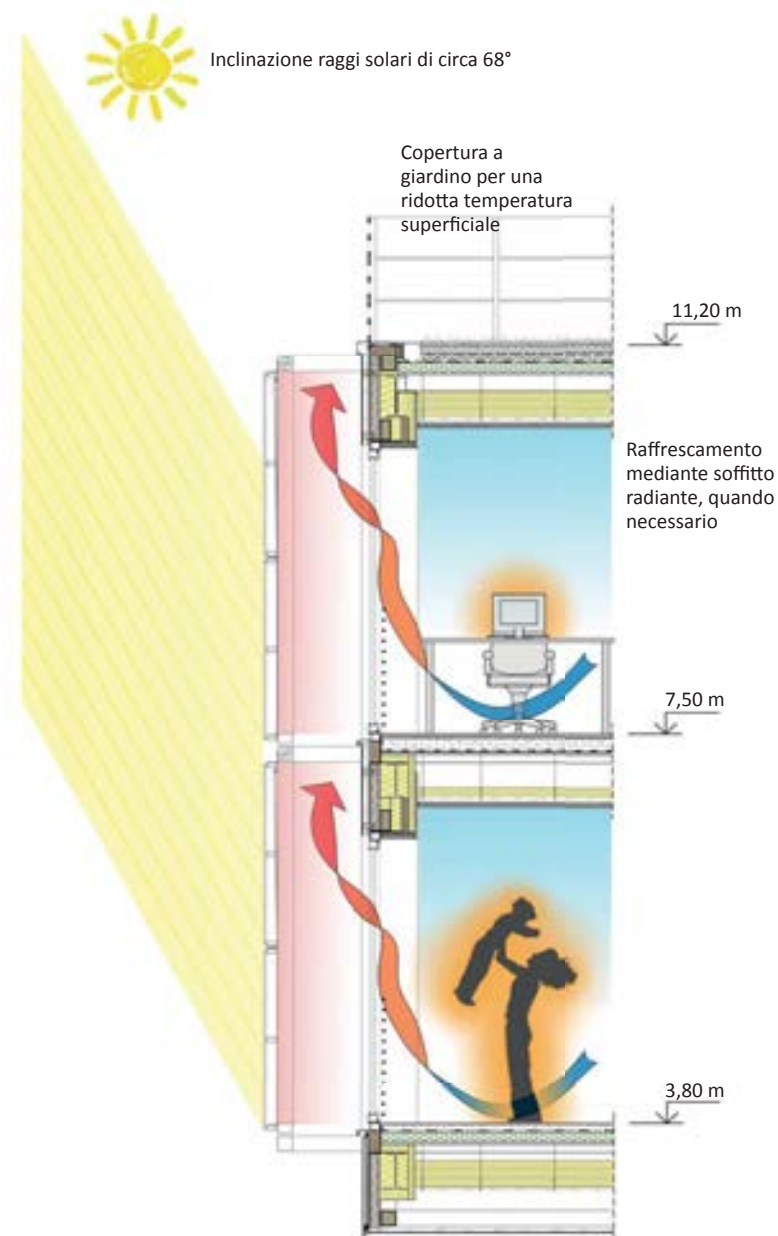
La finitura esterna in alluminio rispecchia sia un'esigenza architettonica di omogeneità dei materiali caratteristici dell'involucro sia il non meno importante requisito di resistenza agli agenti atmosferici.

Queste caratteristiche ottimizzate in base al comportamento invernale del manufatto sono estremamente problematiche durante il periodo estivo, in cui prevalgono esigenze diametralmente opposte di protezione dalla radiazione solare.

Pertanto è stato necessario dimensionare una schermatura esterna mobile in grado di ombreggiare totalmente le superfici vetrate della serra: costituita da pannelli piegavoli in policarbonato alveolare opacizzato, su struttura aggettante in acciaio zincato.

Le schermature abbassate formano una seconda facciata esterna all'edificio e aperta sia lateralmente che superiormente e inferiormente: per effetto della radiazione luminosa e del surriscaldamento degli elementi della schermatura si realizza una ventilazione per effetto camino utile per asportare più efficacemente il calore dalle serre bioclimatiche.

Fig.059 Funzionamento delle schermature in fase estiva





Oltre alla necessità di proteggere le superfici vetrate dalla radiazione solare estiva, è anche utile avere la possibilità di aprire la maggior quantità di superficie possibile per favorire la dissipazione di eventuale calore accumulato dall'ambiente della serra, oltre che non ostacolare la ventilazione naturale degli ambienti retrostanti: a questo proposito è stata scelta una tipologia di infissi ad ante a libro, che consentono di aprire totalmente il lato sud, formando, quando desiderato, un unico spazioso terrazzo.

Le schermature alzate permettono il passaggio della radiazione luminosa invernale: il funzionamento delle serre bioclimatiche è del tipo ad assorbimento diretto, con un discreto contributo di accumulo termico dato dagli strati superficiali del pavimento, costituiti da pannelli di gesso rinforzato e da argilla granulare.

In conclusione si prevede un funzionamento della serra bioclimatica secondo una tipologia mista tra quella a guadagno diretto e quella a scambio convettivo.

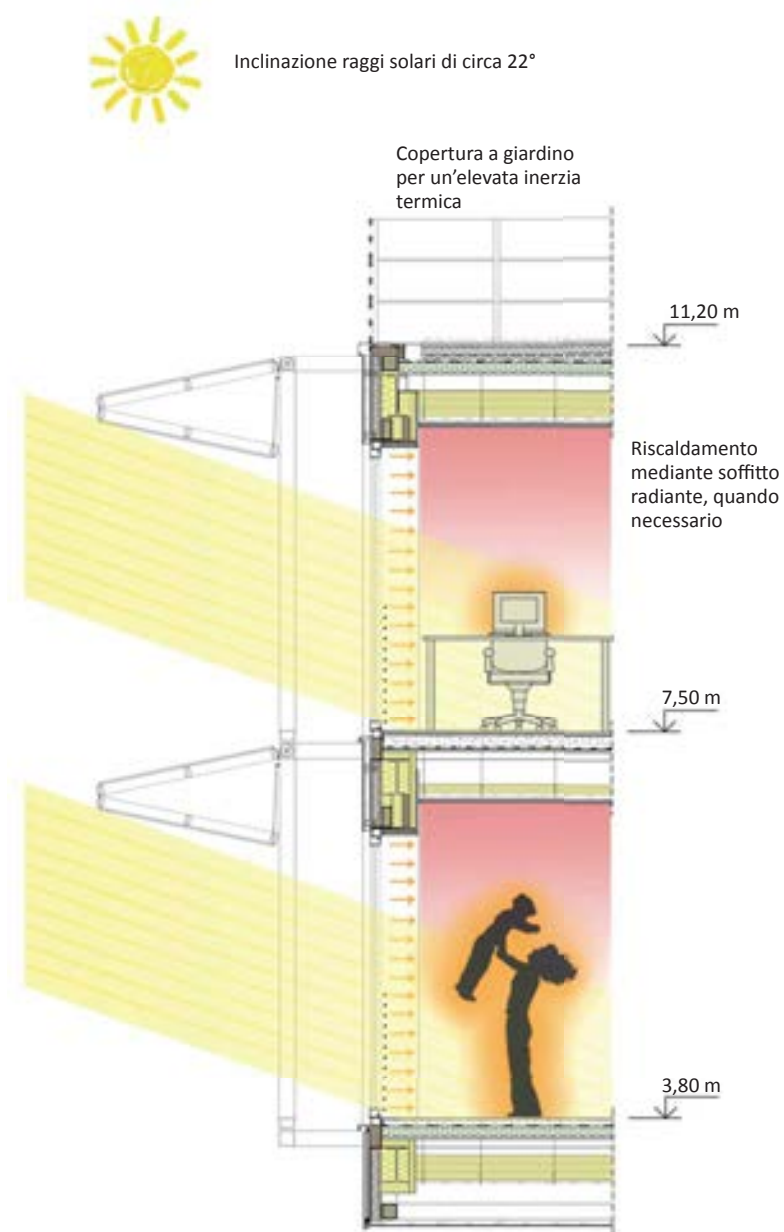


Fig.060 Funzionamento delle schermature in fase invernale

## 5.5 SCELTE IMPIANTISTICHE

Nell'edificio, come esposto in precedenza, sono state ottimizzate le strategie passive di sfruttamento degli apporti gratuiti e minimizzazione delle dispersioni, con uno studio adeguato delle protezioni solari nei confronti del problema del surriscaldamento estivo.

In conformità all'approccio progettuale promosso da Active House, si ottiene un fabbisogno molto basso che può essere coperto mediante l'impiego di sistemi di produzione di energia in sito sfruttando le fonti rinnovabili.

Innanzitutto si delinea lo schema generale di funzionamento del sistema impiantistico, definendone le varie componenti scelte.

L'integrazione della domanda di energia termica e frigorifera per l'edificio è data dall'utilizzo di una pompa di calore aria-acqua, la quale produce acqua calda per il riscaldamento e acqua calda sanitaria nel periodo invernale, mentre si inverte nei mesi estivi, raffreddando l'acqua per il raffrescamento ma contemporaneamente producendo l'acqua calda sanitaria richiesta.

La produzione in sito di energia è effettuata da pannelli solari ibridi che, come esposto nel presente paragrafo, sono utilizzati per la produzione di acqua calda sanitaria, con integrazione del sistema radiante a soffitto di riscaldamento, quando possibile, nonché per la produzione di energia elettrica utile all'alimentazione della pompa di calore, oltre che per l'utilizzo da parte delle utenze.

Come già enunciato, le temperature degli ambienti interni sono regolate mediante un sistema di pannelli radianti a soffitto, con funzionamento a basse temperature: grazie a questo è possibile evitare l'impiego di un bruciatore a gas per la produzione dell'acqua calda per il riscaldamento, ma è sufficiente l'uso di una pompa di calore che, sempre a basse temperature, presenta i valori massimi di efficienza.

Per il ricambio d'aria invernale, oltre che per il controllo dell'umidità interna, è altresì impiegata un'unità di trattamento dell'aria: questo componente è dimensionato per il solo ricambio d'aria dei locali, non viene utilizzato per riscaldamento o raffrescamento, consentendo di limitare le dimensioni dei canali di distribuzione dell'aria.

Le UTA svolgono la funzione di recupero di calore per i ricambi d'aria nella stagione invernale, limitando il fabbisogno di riscaldamento; inoltre ai fini dell'umidificazione o della deumidificazione sono alimentate dall'energia prodotta dai pannelli solari o dalla pompa di calore.

Infine, secondo le considerazioni iniziali di progetto in relazione alla diminuzione dell'impatto edilizio, si prevede l'installazione di un sistema di recupero dell'acqua piovana, con raccolta delle acque meteoriche provenienti dalla copertura a falde e dai terrazzi a giardino in un serbatoio interrato, per poi essere riutilizzata per l'irrigazione o per gli scarichi dei sanitari.

Per quanto riguarda la distribuzione ai piani dei servizi impiantistici, si sfruttano due cavedi posizionati in prossimità del blocco scale, dai quali si diramano le canalizzazioni orizzontali ai singoli livelli dell'edificio.

Il locale impianti è infatti posto al primo livello interrato, sul fronte nord, in prossimità del blocco scale, consentendo l'arrivo diretto dei collegamenti ai pannelli solari posti sulla copertura a falde, nonché il posizionamento di una bocca di lupo verso la corte interna per l'adeguata ventilazione del locale.

Le funzioni pubbliche presentano una centrale impiantistica dedicata di dimensioni ridotte e posta al livello interrato all'estremo sud dell'edificio; questo permette di disaccoppiare i due sistemi, ottimizzando quello rivolto alle residenze.

La posizione del locale impianti è ottimale anche dal punto di vista del controllo dei consumi da parte delle utenze, infatti si accede comodamente dalle scale dedicate alla sola funzione residenziale del fabbricato e che ai livelli interrati danno accesso alle cantine di proprietà.

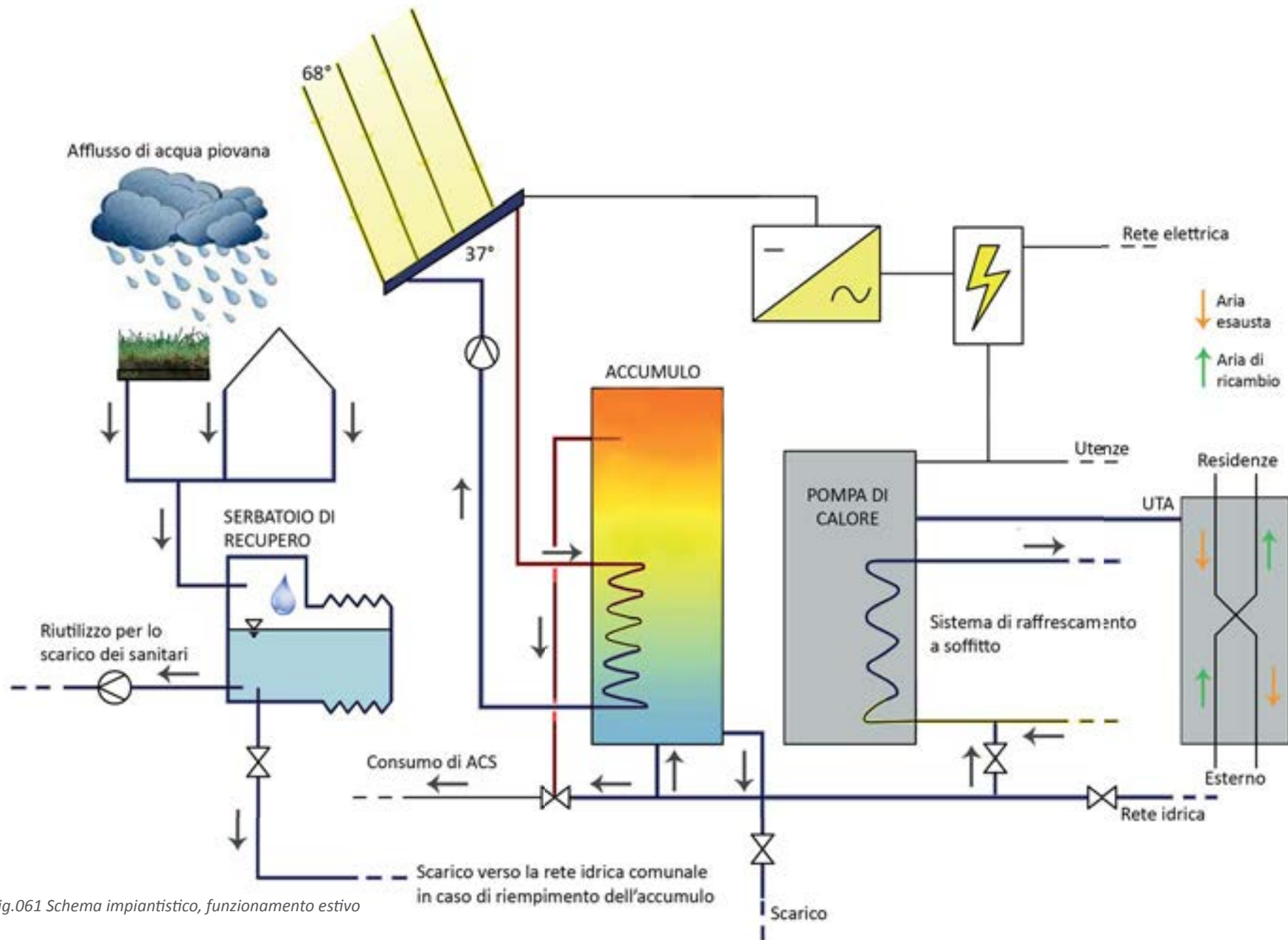


Fig.061 Schema impiantistico, funzionamento estivo

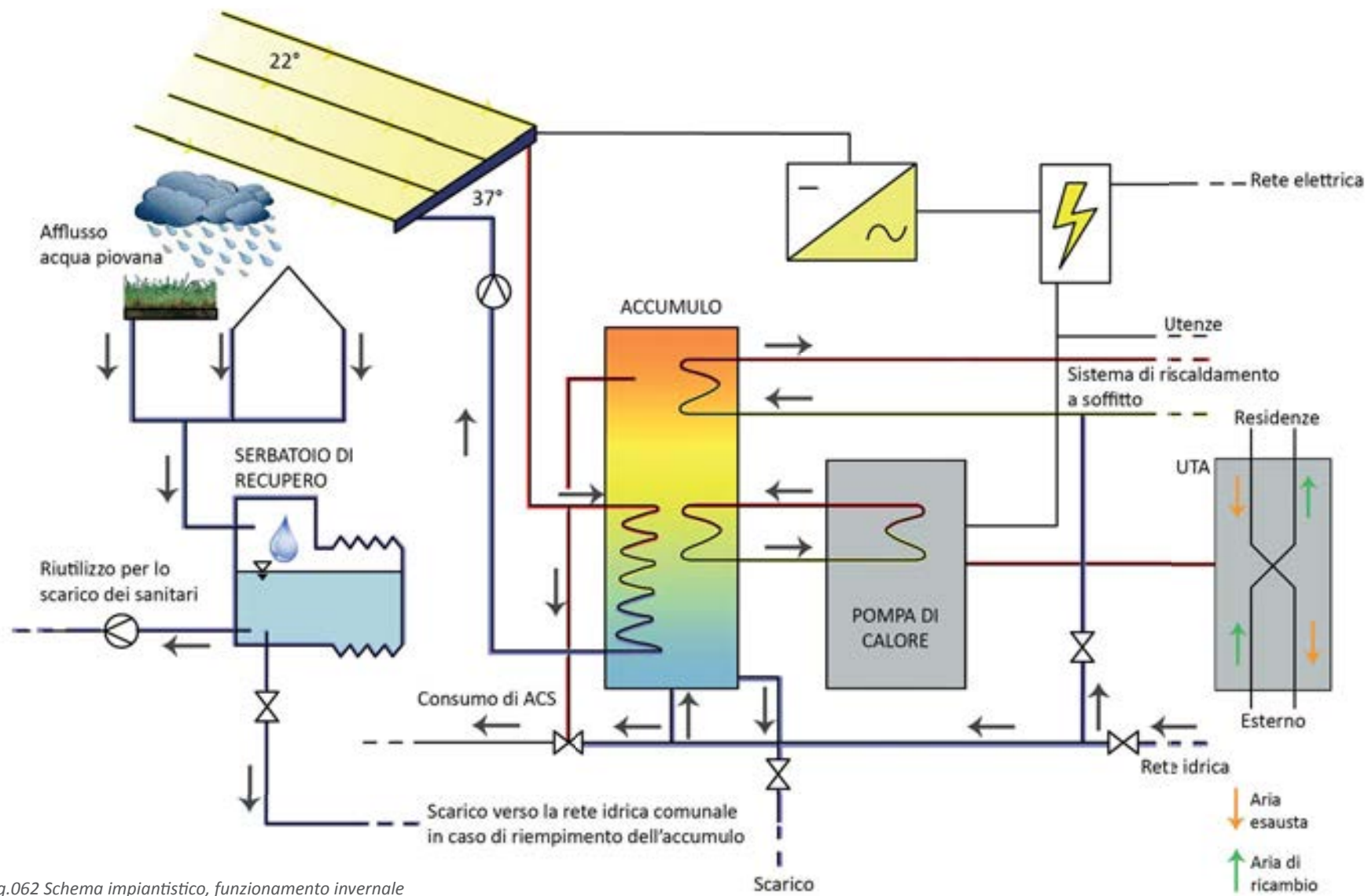


Fig.062 Schema impiantistico, funzionamento invernale

### 5.5.1 FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA

Ai fini del dimensionamento dei componenti impiantistici è importante valutare il fabbisogno di acqua calda sanitaria; a questo proposito si fa riferimento alla norma UNI TS 11300-2:2008, secondo la quale l'energia termica  $Q_{h,w}$  [Wh/G] richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,w} = \rho * c * V_w * (\theta_{er} - \theta_o)$$

dove

$\rho$  è la massa volumica dell'acqua, espressa in kg/L e pari a 1;

$c$  è il calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 Wh/kgK;

$V_w$  è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo, espresso in L/G;

$\theta_{er}$  è la temperatura di erogazione dell'acqua calda sanitaria, posta pari a 40°C come da indicazioni della normativa;

$\theta_o$  è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda proveniente dalla rete di distribuzione cittadina, che per Milano assume un valore mediamente costante al di sopra dei 14°C, assunto alla base dei calcoli.

In particolare, i valori di fabbisogno giornaliero sono riferiti a dati medi giornalieri, in cui il volume è dato da:

$$V_w = a * N_u$$

dove

$a$  è il fabbisogno giornaliero specifico [L/G];

$N_u$  è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Per destinazioni residenziali il valore  $N_u$  è dato dal valore della superficie utile  $S_u$  dell'abitazione, espressa in metri quadrati, mentre il valore di  $a$  si ricava dal prospetto 12 di suddetta norma:

per superfici  $S_u$  minori di 50 m<sup>2</sup> si utilizza un coefficiente  $a$  pari a 1,8 L/G;

per superfici  $S_u$  fino a 200 m<sup>2</sup> il parametro  $a$  è calcolato come  $4,514 * S_u^{-0,2356}$ ;

oltre i 200 m<sup>2</sup> si assume un valore di  $a$  pari a 1,3 L/G.

Di seguito si riporta la tabella con i valori calcolati in base alle indicazioni della norma UNI.

Tab.015 Calcolo delle portate giornaliere di fabbisogno di ACS

Residenza	$S_u$ [m <sup>2</sup> ]	$a$ [L/G]	$V_w$ [L/G]
Monolocale M1	29,35	1,80	52,83
Bilocale B1	46,90	1,80	84,42
Trilocale T1	54,85	1,76	96,38
Minilocale M2	29,35	1,80	52,83
Bilocale B2	46,90	1,80	84,42
Trilocale T2	54,85	1,76	96,38
Duplex D1	56,90	1,74	99,12
Duplex D2	56,90	1,74	99,12
Duplex D3	90,34	1,56	141,14
Monolocale M3	35,30	1,80	63,54
Bilocale B3	46,90	1,80	84,42
Bilocale B4	44,85	1,80	80,73
Trilocale T3	80,75	1,60	129,53
Attico A1	86,70	1,58	136,77
Attico A2	149,65	1,39	207,58
<b>Totale <math>S_u</math> [m<sup>2</sup>]</b>	<b>910,49</b>	<b><math>V_w</math> totale [L/G]</b>	<b>1509,21</b>

Da tale valore di portata del fabbisogno di ACS si ricava l'energia giornaliera richiesta  $Q_{h,w} = 45,60$  kWh/G; tale valore è utilizzato in seguito per la verifica della copertura del fabbisogno data dai pannelli solari di progetto.

Al di là del fabbisogno medio giornaliero è tuttavia necessario valutare la portata di picco richiesta dalle utenze ai fini del dimensionamento del serbatoio di accumulo e della potenza richiesta per il riscaldamento di tale volume d'acqua.



Il consumo maggiore di ACS viene fatto dalle docce, con un consumo medio ad utilizzo di circa 50 L; si ritiene lecito utilizzare un fattore di contemporaneità del 60% poichè è altamente improbabile che tutti i residenti utilizzino l'acqua nello stesso momento, specie considerando una durata media delle docce di 20 minuti.

In questo modo si ricava una portata oraria di ACS a 40°C, fornita alle 15 residenze presenti nell'edificio, di circa 450 L

Il calore totale per il riscaldamento della portata di picco di ACS richiesta, per una temperatura di erogazione di 40°C e di adduzione dalla rete di 14°C, è pari a  $Q_{tot} = 13,60$  kWh.

Considerato il periodo di punta di 20 minuti e un periodo di preriscaldamento dell'acqua nell'accumulo di circa 2 ore, si ottiene il valore del calore orario che deve essere fornito all'accumulo al fine di garantire la copertura del fabbisogno di ACS:  $Q_h = 5,83$  kW.

Tale valore corrisponde altresì alla potenza di picco per il dimensionamento della pompa di calore, rispetto al fabbisogno di ACS, a cui va aggiunta quella relativa alla richiesta di energia per il riscaldamento.

In seguito si determina il calore da accumulare nel serbatoio, come prodotto della potenza  $Q_h$  per il periodo di preriscaldamento:  $Q_a = 11,66$  kWh.

Il volume che deve essere contenuto all'interno del serbatoio si determina dividendo l'energia del preriscaldamento per la differenza di temperatura tra quella di adduzione dell'acqua dalla rete e quelle dell'accumulo che viene posta a 55°C, in quanto tale valore rientra nei limiti di produzione da parte della pompa di calore e nei limiti di adduzione per il sistema di riscaldamento a soffitto radiante. Si ottiene pertanto un volume di accumulo, lato ACS, di  $V_{ACS} = 245$  L.

## 5.5.2 FABBISOGNO DI ENERGIA PER LA CLIMATIZZAZIONE

Per il calcolo del fabbisogno energetico per la climatizzazione delle residenze, si utilizzano i risultati forniti dal software di simulazione dinamica Trnsys, suddivisi in energia per il riscaldamento ed energia per il raffrescamento.

Di seguito si riporta la tabella dei risultati mensili dell'energia necessaria per la climatizzazione.

Tab.016 Fabbisogno energetico per la climatizzazione calcolato dal software Trnsys

Mese	$Q_{sen,H}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$Q_{sen,C}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$Q_{lat}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	2,94	0,000	0,24
Febbraio	2,04	0,000	0,49
Marzo	0,74	0,000	1,08
Aprile	0,19	0,000	0,20
Maggio	0,04	0,000	0,00
Giugno	0,01	0,001	0,00
Luglio	0,00	0,002	0,00
Agosto	0,00	0,002	0,00
Settembre	0,02	0,000	0,00
Ottobre	0,20	0,000	0,35
Novembre	1,41	0,000	0,33
Dicembre	3,08	0,000	0,21
<b>Totale</b>	<b>10,65</b>	<b>0,005</b>	<b>2,89</b>

In particolare si evidenzia il valore della potenza massima istantanea relativa al fabbisogno per il riscaldamento fornita dal software, necessaria per il dimensionamento della potenza di picco raggiunta dal sistema di riscaldamento radiante a soffitto e fornita dalla pompa di calore: pari a  $Q_{picco,p} = 0,02$  kW/m<sup>2</sup>. Il valore complessivo per l'intero edificio è di  $Q_{picco,T} = 17,92$  kW.

Come si osserva dalla tabella dei fabbisogni precedentemente riportata, l'energia per il raffrescamento richiesta è quasi nulla, come era presumibile avendo ottimizzato il progetto in funzione di una ventilazione naturale controllata ai fini dell'ottenimento del comfort interno; pertanto tale energia non risulta significativa ai fini del dimensionamento degli impianti, il fattore determinante è dato dal fabbisogno per il riscaldamento.

Inoltre, il calore latente riportato è utilizzato nel determinare le caratteristiche del sistema di trattamento dell'aria con recupero di calore, analizzato in seguito.

#### PANNELLI RADIANTI A SOFFITTO

Dalla scheda tecnica fornita dal produttore del sistema radiante a soffitto scelto, tipo Proterceiling GKP2000, si determina la potenza fornita dai pannelli radianti, per unità di superficie, in funzione del differenziale tra la temperatura dell'acqua di mandata e quella dell'aria dei locali riscaldati:

$$q = 3,5611 * \Delta t^{1,1105}$$

dove q è posto pari alla  $Q_{picco,p} = 0,02 \text{ kW/m}^2$ , ottenendo un differenziale minimo di temperatura tra fluido vettore e aria pari ad almeno  $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In particolare, nel garantire una temperatura interna intorno ai  $20^\circ\text{C}$  si ricava una temperatura di mandata di circa  $24,8^\circ\text{C}$ .

Nel caso estivo si sottolinea che la temperatura superficiale in corrispondenza dell'asse della tubazione radiante, con impianto a regime, è di circa  $2 \div 3^\circ\text{C}$  superiore a quella del fluido circolante, per cui la temperatura dell'acqua di alimentazione non deve assolutamente scendere sotto i  $15^\circ\text{C}$  con controllo dell'umidità relativa fissato al 55%: dato il fabbisogno di raffrescamento estremamente basso e supponendo una temperatura interna minima di  $26^\circ\text{C}$ , con lo stesso differenziale trovato nel caso invernale non si scende al di sotto dei  $21^\circ\text{C}$  di temperatura di mandata, facilitando la prevenzione dei fenomeni di condensa.

In conclusione, considerando come fluido vettore l'acqua, si calcola la portata che deve essere presente nell'accumulo per fornire l'energia necessaria al riscaldamento degli ambienti residenziali, secondo la relazione

$$p_R = Q_{picco,T} / (c * \Delta t) = 3213 \text{ L/h}$$

Il valore di portata ricavato è relativo ad una temperatura del fluido di  $24,8^\circ\text{C}$ ; nell'accumulo l'acqua è conservata ad una temperatura di  $55^\circ\text{C}$ , come precedentemente enunciato, pertanto si calcola la portata equivalente a tale temperatura per fornire l'energia richiesta, che risulta pari a  $847 \text{ L/h}$ .

Perciò in un ora di funzionamento dell'impianto di riscaldamento serve una sorgente di  $V_R = 847 \text{ L}$  alla temperatura di  $55^\circ\text{C}$  da cui prelevare l'energia richiesta; tale energia è rigenerata nello stesso tempo mediante una potenza di  $17,92 \text{ kW}$ .

#### ACCUMULO DI ACQUA CALDA

In base ai fabbisogni calcolati di Acqua Calda Sanitaria e di riscaldamento, si ottiene un dimensionamento del serbatoio di accumulo a servizio delle residenze, pari a un volume di  $V_{TOT} = V_W + V_R = 1092 \text{ L}$ .

Pertanto si utilizzano serbatoi di tipo Giacomini per una capacità totale in grado di soddisfare tale requisito.

#### POMPA DI CALORE

Dal lato della produzione dell'energia termica necessaria, nell'ipotesi più sfavorevole di assenza degli apporti dati dalle fonti rinnovabili, si determina una potenza di picco per la produzione di ACS e per il riscaldamento pari a  $Q_{TOT} = Q_h + Q_{picco,T} = 23,75 \text{ kW}$ .

Considerando una pompa di calore, tipo Dimplex, con un rendimento del 250%, al netto delle perdite di emissione, di regolazione, di distribuzione, di generazione e di erogazione, si ottiene una pompa con potenza massima di  $9,5 \text{ kW}$ .

### 5.5.3 TRATTAMENTO DELL'ARIA

Ai fini del controllo dell'umidità degli ambienti interni e del ricambio d'aria con recupero di calore, nell'ottica di una minimizzazione delle dispersioni termiche volta all'ottenimento di prestazioni energetiche elevate da parte del progetto, si utilizzano delle unità di trattamento dell'aria.

Il dimensionamento di tali unità avviene principalmente in base al numero di ricambi orari e della conseguente portata d'aria richiesta.

Pertanto, considerando un volume totale delle residenze pari a circa 2730 m<sup>3</sup> d'aria, in base a quanto specificato dalla norma UNI TS 11300, si valuta un volume minimo di ricambio di 0,5 vol/h.

Questa condizione, posta alla base di un semplice calcolo per il fabbisogno energetico porterebbe ad una portata di progetto di circa 1365 m<sup>3</sup>/h; in realtà per garantire un'adeguata qualità dell'aria interna si considera un tasso di ricambio di 2,5 vol/h, ovvero ad una portata di circa 6830 m<sup>3</sup>/h.

Per tale funzione si sceglie una macchina di trattamento dell'aria di tipo Everest XH 7000 della Aldes, con un ingombro in pianta di 1.827x2.628 mm e un'altezza di 1.693 mm, confermando l'adeguatezza del locale impianti progettato al primo livello interrato dell'edificio.

È inoltre possibile prevedere il passaggio dell'aria esterna in tubazioni interrate nello spazio della corte interna, ottenendo un preriscaldamento dell'aria stessa ai fini di una ulteriore riduzione delle dispersioni termiche per ventilazione.

### 5.5.4 RECUPERO DELLE ACQUE METEORICHE

Nella definizione del sistema di recupero dell'acqua piovana, volto a ridurre l'impatto edilizio della nuova costruzione, si valuta la quantità di acqua piovana che è possibile raccogliere in un anno, secondo la relazione

$$V_{RW} = P * H_{fil} * \sum_i S_i * Y_i$$

dove

P è l'entità delle precipitazioni annue in mm, pari a 613,8 mm a Milano, secondo i dati dell'ARPA;

H<sub>fil</sub> è l'efficacia del filtro di trattamento delle acque, di norma pari a circa il 95%;

S<sub>i</sub> è l'area della superficie di raccolta i-esima;

Y<sub>i</sub> è il coefficiente di deflusso che caratterizza suddetta superficie, e varia in funzione della finitura esterna secondo i seguenti valori forniti dalla UNI 10724.

*Tab.017 Coefficienti di deflusso di progetto*

Superficie	S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	Y <sub>i</sub>
Copertura a giardino	84	0,5
Terrazzo a giardino	29	0,3
Terrazzo a giardino	26	0,5
Terrazzo a giardino	100	0,5
Terrazzo pavimentato	46	0,8
Copertura a falde in lamiera metallica	100	0,9
<b>Totale <math>\sum_i S_i * Y_i</math> [m<sup>2</sup>]</b>	<b>240,5</b>	

Si ottiene pertanto un valore di V<sub>RW</sub> = 140.238 L nell'arco dell'intero anno; il volume effettivo del serbatoio si dimensiona tramite il rapporto della durata massima dei periodi di siccità, 21 giorni per Milano, e il totale dei giorni dell'anno.

Il serbatoio necessario è pertanto pari ad un volume di circa 8000 L, tipo Kessel Aqabase, con un ingombro per l'interro di 2010x3470 mm in pianta e una profondità di 2170 mm.

### 5.5.5 ENERGIE RINNOVABILI

Il progetto presenta una copertura a falde con una superficie disponibile orientata a sud di circa 40 m<sup>2</sup> con inclinazione di 35,25°.

Tale superficie è destinata ad ospitare 24 pannelli solari ibridi per la produzione di acqua calda e di energia elettrica: la superficie di un pannello è di 1,6 m<sup>2</sup> per un totale di S<sub>p</sub> = 38,4 m<sup>2</sup> di superficie captante.

Innanzitutto si valuta il livello di irraggiamento medio mensile disponibile sulla superficie di progetto, mediante i dati forniti dal "Photovoltaic Geographical Information System" e riportati di seguito.

Tab.018 Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Mese	R <sub>ggmm</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	2,69
Febbraio	3,50
Marzo	4,70
Aprile	5,19
Maggio	5,53
Giugno	5,83
Luglio	5,94
Agosto	5,50
Settembre	4,67
Ottobre	3,50
Novembre	2,67
Dicembre	2,12
<b>Totale annua</b>	<b>1579</b>

I pannelli ibridi scelti, tipo Twinsun Eclipse, presentano i seguenti valori di rendimento:

- dal lato dell'assorbitore di energia termica è fornito un valore di rendimento pari al η<sub>T</sub> = 65%, con una temperatura di esercizio massima di 80°C;
- dal lato delle celle fotovoltaiche è dato un valore di rendimento del η<sub>E</sub> = 15%.

Data l'efficienza dei pannelli, la superficie totale dell'impianto e il valore dell'irraggiamento giornaliero medio mensile, si calcola l'energia termica ed elettrica fornita dai pannelli secondo le seguenti relazioni:

$$E_{ST} = R_{ggmm} * G * S_p * \eta_T$$

$$E_{FV} = R_{ggmm} * G * S_p * \eta_E$$

In particolare per il solare termico si valuta la portata di fluido vettore in grado di assorbire correttamente l'energia e di trasferirla nell'accumulo termico; per questo si considera la potenza termica di picco dei pannelli, Q<sub>PiccoST</sub> = 1040 W.

Si utilizza la relazione che determina la portata p del fluido vettore

$$p = Q_{PiccoST} / (c * \Delta t)$$

dove

c è il calore specifico dell'acqua, già enunciato;

Δt è il range di temperature di funzionamento del fluido vettore, si considera una differenza tra temperatura in ingresso e in uscita ai pannelli di circa 10°C, al fine di ridurre lo stress termico sugli stessi.

Si ottiene pertanto una portata di circa 90 L/h che consente il pieno sfruttamento dell'energia termica prodotta dai pannelli nelle condizioni considerate.

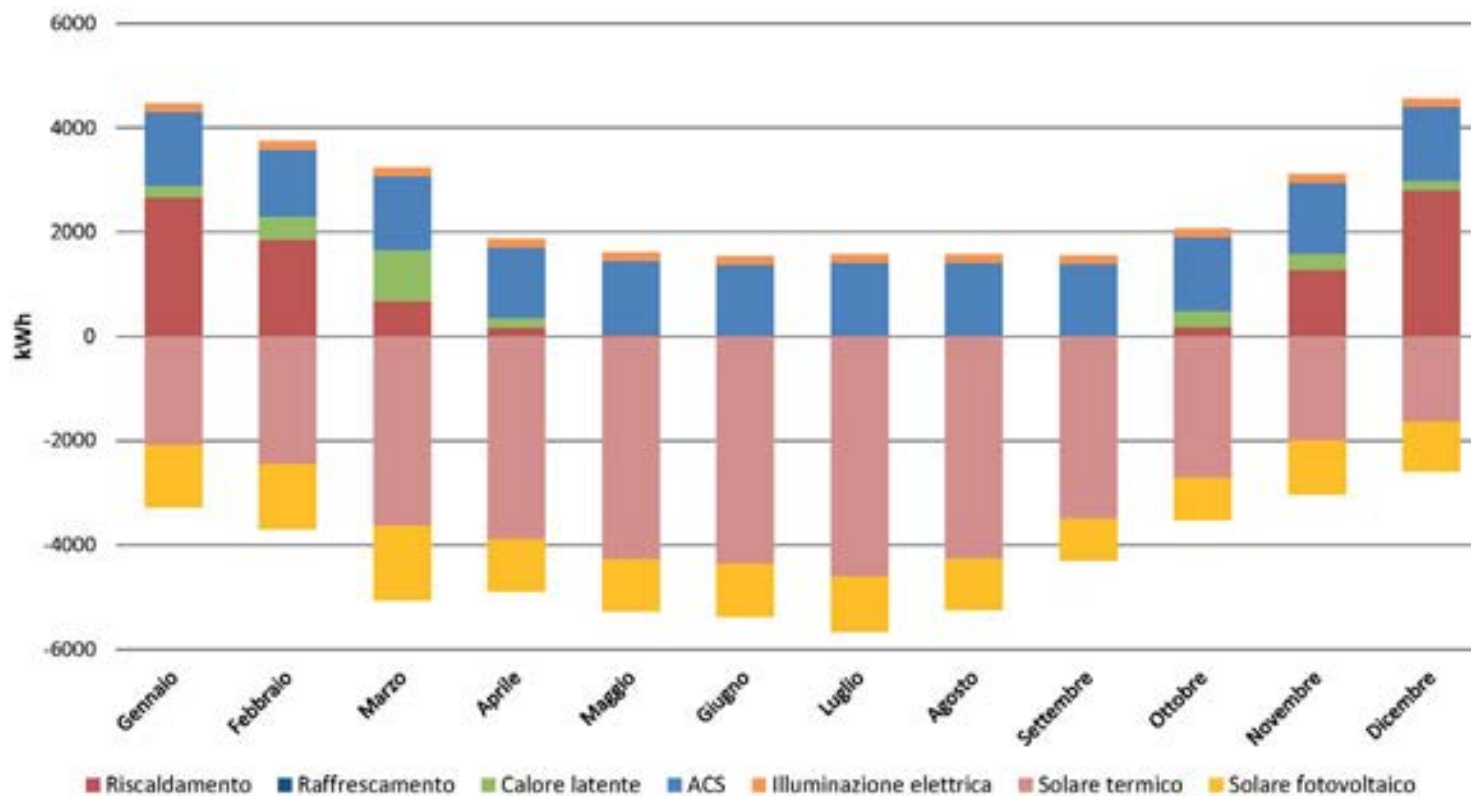


Fig.063 Bilancio energetico mensile

Nel grafico sopra riportato si osserva il bilancio energetico tra il fabbisogno, calcolato tramite il software di simulazione dinamica del modello di edificio Trnsys, e la produzione di energia in sito fornita dai pannelli solari ibridi.

Si nota, in corrispondenza dei mesi estivi, una sovrapproduzione di energia termica; in generale tale energia deve essere reimpressa nell'ambiente senza la possibilità di essere sfruttata appieno.

Esistono tuttavia tecniche di conservazione dell'energia termica che ne rende possibile l'utilizzo successivo nelle stagioni più fredde dove il fabbisogno per il riscaldamento è molto maggiore rispetto alla produzione di energia da fonti rinnovabili disponibile.

Una modifica del sistema impiantistico in questa direzione può portare ad un significativo miglioramento del bilancio energetico.



Tab.019 Riepilogo numerico relativo al bilancio energetico mensile dell'edificio di progetto

Mese	E <sub>Raffrescamento</sub> [kWh]	E <sub>Riscaldamento</sub> [kWh]	E <sub>Latente</sub> [kWh]	E <sub>ACS</sub> [kWh]	E <sub>Illuminazione</sub> [kWh]	E <sub>Solare Termica</sub> [kWh]	ACS <sub>Copertura</sub> [%]	Risc <sub>Copertura</sub> [%]	E <sub>ST Eccesso</sub> [kWh]	E <sub>Fotovoltaico</sub> [kWh]	E <sub>El Copertura</sub> [%]	Bilancio [kWh]
Gennaio	2673,58	0,00	215,96	1413,49	158,80	2081,41	147,3	25,0	0	480,33	45,9	-567,12
Febbraio	1859,85	0,00	443,31	1276,70	158,80	2446,08	191,6	62,9	0	564,48	92,2	-114,41
Marzo	678,23	0,00	980,00	1413,49	158,80	3636,67	257,3	327,8	1544,95	839,23	152,4	288,43
Aprile	169,06	0,00	178,05	1367,89	158,80	3886,27	284,1	1489,7	2349,32	896,83	389,9	666,81
Maggio	36,79	0,00	0,00	1413,49	158,80	4278,89	302,7	-	2828,61	987,44	621,8	828,64
Giugno	6,32	0,54	0,00	1367,89	158,80	4365,50	319,1	-	2991,29	1007,42	633,5	848,41
Luglio	0,00	1,91	0,00	1413,49	158,80	4596,13	325,2	-	3182,65	1060,65	664,7	901,08
Agosto	0,45	2,09	0,00	1413,49	158,80	4255,68	301,1	-	2841,74	982,08	615,2	822,44
Settembre	15,16	0,00	0,00	1367,89	158,80	3496,90	255,6	-	2113,85	806,98	508,2	648,18
Ottobre	178,87	0,00	318,95	1413,49	158,80	2708,16	191,6	723,8	1115,80	624,96	218,2	338,58
Novembre	1282,70	0,00	301,09	1367,89	158,80	1999,30	146,2	49,2	0	461,38	85,5	-126,63
Dicembre	2800,15	0,00	190,55	1413,49	158,80	1640,37	116,1	8,1	0	378,55	29,9	-885,78
<b>Annuale</b>	<b>9701,17</b>	<b>4,54</b>	<b>2627,92</b>	<b>16642,66</b>	<b>1905,60</b>	<b>39391,37</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>18968,21</b>	<b>9090,32</b>	<b>-</b>	<b>3648,63</b>

L'impiego di un sistema di accumulo di tipo stagionale si rivela tuttavia oneroso in termini di costruzione e installazione e non viene trattato nella presente analisi.

Infine nella tabella di riepilogo osservabile in questa pagina, sono quantificati i fabbisogni totali di energia in relazione alla parte residenziale dell'edificio di progetto; si riportano inoltre i valore di produzione energetica totale su base mensile da fonti rinnovabili, con la relativa percentuale di copertura.

Si nota come il solare termico soddisfi pienamente il fabbisogno di acqua calda sanitaria, contribuendo inoltre al riscaldamento invernale dei locali.

L'energia elettrica prodotta dalla componente fotovoltaica è prima di tutto usata nell'alimentazione della pompa di calore.

Quest'ultima, con il suo rendimento del 250%, fornisce il disavanzo energia termica necessaria per il riscaldamento, il raffrescamento ed il trattamento dell'aria.

Nei mesi delle stagioni intermedie e di quella estiva, la componente di energia elettrica prodotta è largamente sufficiente a soddisfare anche il fabbisogno per l'illuminazione artificiale, generando un bilancio positivo di energia: essa può essere utilizzata per alimentare gli elettrodomestici delle residenze.

A differenza di quella termica, un'eventuale sovrapproduzione di energia elettrica, in mancanza della possibilità di reimmissione in rete della stessa, è sostanzialmente inutilizzata e non porta reali benefici.

In definitiva si ottiene un bilancio energetico pari a +4,01 kWh/m<sup>2</sup>anno.

Pannelli solari ibridi tipo Eclipse  
250 Wp - Schema 24 pannelli






Serre bioclimatiche ad apporti diretti  
Scherme solari mobili





Vegetazione a foglie caduche

Copertura con sistema a tetto giardino  
Abbassamento delle temperature superficiali

Pannelli radianti a soffitto per riscaldamento e raffreddamento

**SCELTE IMPIANTISTICHE**

- |   |  |   |                                 |
|---|--|---|---------------------------------|
|  | Accumulo ACS e Riscaldamento<br>1500 L (Funzione Residenziale)<br>tipo Giacomini |  | Inverter                        |
|  | Pompa di calore Aria/Acqua<br>10 kW (Funzione Residenziale)<br>tipo Dimplex      |  | Contatore di<br>produzione<br>P |
|  | VMC a doppio flusso<br>7000 m <sup>3</sup> /h tipo Aldes                         |  | Contatore di<br>consumo<br>C    |

-  Espulsione aria esausta
-  Presa d'aria in ingresso
-  Rete elettrica
-  Rete idrica

## 5.6 CERTIFICAZIONE ENERGETICA

In base al regolamento della Regione Lombardia, si effettua la classificazione energetica del progetto secondo la metodologia fornita dal software CENED+, si sottolinea che tale programma non considera il comportamento dinamico dell'edificio, portando a prestazioni inferiori rispetto a quelle ottenute con Trnsys.

Indicatori		
Riscaldamento o climatizzazione invernale $EP_H$	1.12	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Acqua calda sanitaria $EP_{wv}$	72.09	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Totale per usi termici	73.22	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Illuminazione $EP_L$	0.00	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Solare termico (Riscaldamento)	0.00	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Solare termico (ACS)	7.92	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Solare fotovoltaico	6.29	[kWh/m <sup>2</sup> ]

Indicatori		
Riscaldamento $\epsilon g_H$	30.28	
Acqua calda sanitaria $\epsilon g_{wv}$	0.28	
Riscaldamento + ACS $\epsilon g_{Hwv}$	0.74	

Indicatori		
Emissioni di CO <sub>2</sub>	0.22	[kg/m <sup>2</sup> ]

Fig.064 Indicatori ottenuti dal Software di certificazione CENED+

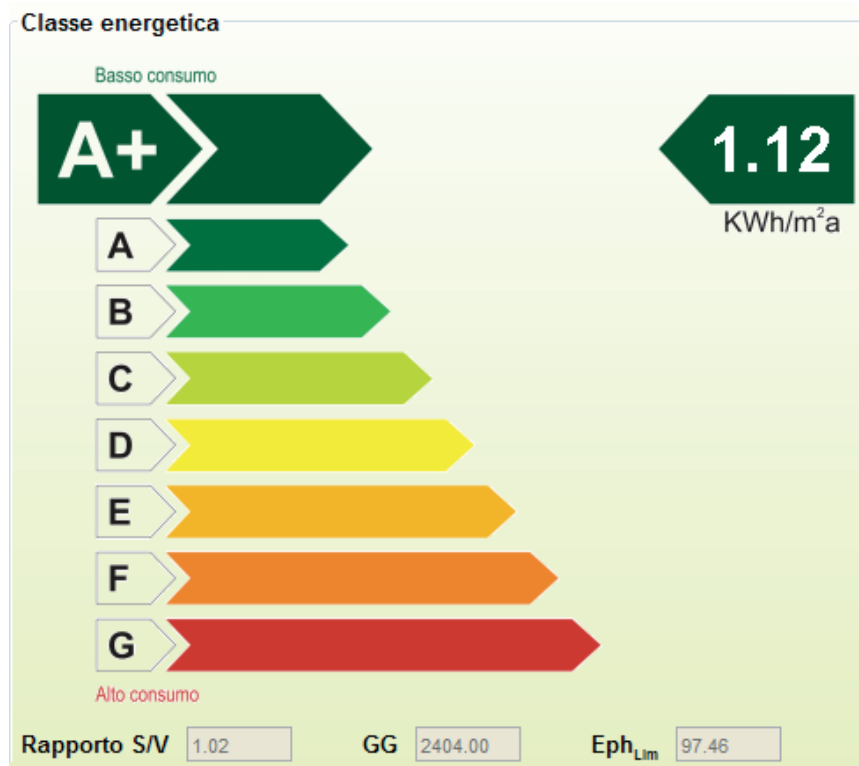


Fig.065 Classe energetica calcolata mediante il software CENED+

Nonostante il peggioramento delle prestazioni ottenute, specialmente in ambito estivo, dovute al fatto che il programma CENED+ non è in grado di effettuare una valutazione dei comportamenti dinamici dell'involucro edilizio, è conseguito ugualmente un ottimo valore di classificazione energetica, prossimo allo zero proprio come desiderato in concordanza con il concept iniziale di progettazione di un edificio a fabbisogno energetico quasi nullo.

## 5.7 ACTIVE HOUSE

Infine, nell'ottica di una valutazione del progetto dal punto di vista della sostenibilità, ovvero ad una attenzione nei confronti dell'impatto sul clima e sull'ambiente, si fa riferimento alle linee guida ed ai principi dello standard ActiveHouse.

Tali principi si propongono di definire un quadro di regole per la progettazione degli edifici che contribuisca positivamente a migliorare la salute umana e il benessere, concentrandosi sull'ambiente interno ed esterno sull'uso di energie rinnovabili.

Un edificio di tipo ActiveHouse è volto a soddisfare i 3 paradigmi principali propri del settore edilizio:

- il comfort, per l'ottenimento di condizioni interne confortevoli e salutari assicurando adeguati apporti di luce solare e aria fresca, con materiali dal basso o nullo impatto sulle caratteristiche dell'aria interna;
- l'energia, con l'obiettivo di una produzione in sito del fabbisogno dell'edificio, minimizzando il fabbisogno da fonti esterne non rinnovabili;
- l'ambiente, ponendo particolare attenzione all'impatto della costruzione per l'intero ciclo di vita della stessa.



Al fine della valutazione dei parametri precedentemente esposti si definisce l'Active House Radar, che riporta i livelli prestazionali ottenuti all'interno delle classi tematiche individuate e dove il livello più alto è indicato dal valore minimo dell'indice, pari a 1.

Tale Radar si rivela un efficace strumento di comunicazione e valutazione delle caratteristiche del progetto in esame.

### COMFORT

1.1 Luce naturale: un'adeguata illuminazione naturale è importante per la salute e il benessere degli occupanti, essa è valutata tramite il Fattore di Luce Diurna; in questo ambito si ottiene un punteggio pari a 2 dato che il FLD di progetto si attesta in media su valori superiori al 3% ma raramente supera il 5%.

Il valore ottenuto è mediato con il voto relativo alla disponibilità di luce diurna che in questo caso vale 1, grazie all'attenzione posta nelle prime fasi della progettazione dove è stato garantito un accesso solare per oltre il 10% di ore di luce disponibili.

Globalmente questo indice assume pertanto il valore di 1,5.

1.2 Ambiente igrotermico: riguardo al comfort, la temperatura dei locali assume un ruolo fondamentale; da questo punto di vista, come si evince dall'analisi precedentemente svolta, in base alle classi stabilite dalla norma UNI 15251, si osserva come sono rispettati i requisiti della classe I, relativamente alla temperatura operativa massima raggiunta, e a quelli della classe III in relazione alle temperature minime.

Il voto complessivo ricavato è pari a 2,5 per questa categoria.

1.3 Qualità dell'aria: valutata in base alla concentrazione di CO<sub>2</sub> rispetto all'ambiente esterno; avendo posto un tasso di ricambi orari sufficientemente elevato e senza ricircolo, si ottiene un punteggio elevato in questo ambito, stimato cautelativamente come pari a 2.

## ENERGIA

2.1 Fabbisogno annuale di energia: si utilizza il valore calcolato mediante il software di simulazione dinamica Trnsys, che rispecchia più fedelmente il comportamento reale dell'edificio di progetto, in concordanza ai parametri stabiliti nella norma UNI 13786 e UNI 15251.

Date le elevate prestazioni che portano ad un fabbisogno complessivo di circa 13,55 kWh/m<sup>2</sup>anno di gran lunga inferiori ai 40 kWh/m<sup>2</sup>anno, si ottiene una valutazione pari a 1.

2.2 Fornitura dell'energia: come già osservato l'intero fabbisogno è prodotto in sito mediante lo sfruttamento di fonti rinnovabili, il che porta al punteggio massimo di 1.

2.3 Bilancio: secondo quanto espresso in precedenza, l'edificio di progetto assume un bilancio energetico complessivamente positivo, collocandosi in categoria 1.

## AMBIENTE

3.1 Impatto ambientale: questa categoria riassume una serie di indici relativi al potenziale energetico ed inquinante del fabbricato durante l'intero ciclo di vita; alcuni parametri richiedono onerose valutazioni di dettaglio che vengono sostituite in questa sede da ipotesi plausibili basate sui dati reperibili relativi ai materiali scelti per il progetto.

Complessivamente si ottiene un punteggio cautelativo pari a 1.5, ricordando che sono stati preferiti materiali naturali e/o provenienti da filiere di riciclaggio.

3.2 Consumo di acqua potabile: questo indice prevede la valutazione della riduzione dei consumi di acqua potabile nel progetto rispetto alla media del contesto, in mancanza di dati e misurazioni specifiche si assume il punteggio cautelativo pari a 4.

3.3 Sostenibilità: questo parametro valuta il contenuto di materiali riciclabili o riutilizzabili all'interno del progetto; come già enunciato sono stati scelti materiali per la quasi totalità riciclabili e riutilizzabili, grazie anche all'impiego di soluzioni secondo una tecnologia stratificata a secco, che ne facilita la recuperabilità. In totale si ottiene una valutazione pari a 1 in questo ambito.

In conclusione il progetto rispecchia le elevate attese in relazione ai consumi energetici ed alla sostenibilità della costruzione, soddisfacendo l'obiettivo di un alto livello di comfort degli ambienti interni, ottenuto prevalentemente mediante opportune strategie di involucro, minimizzando le integrazioni impiantistiche.

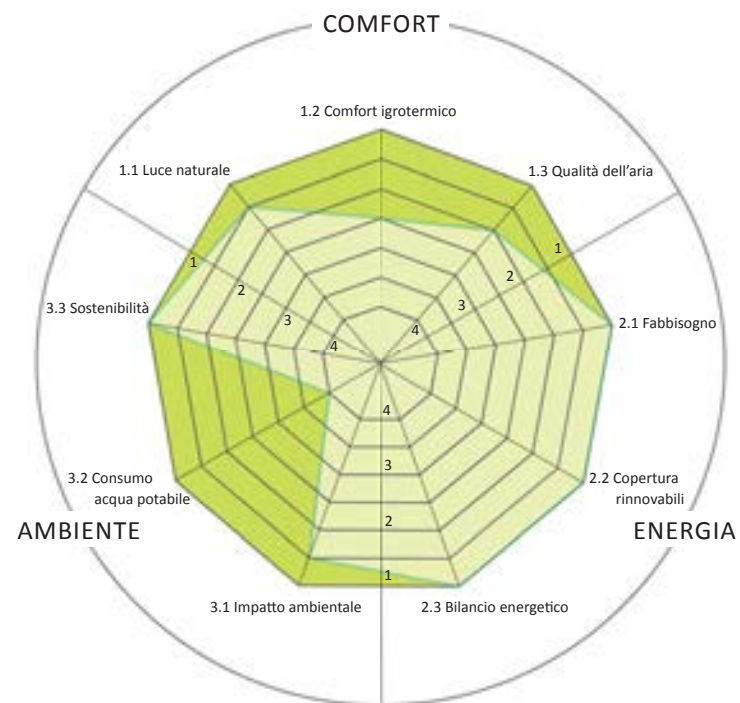


Fig.066 Active House Radar di progetto







CAPITOLO 6 - PROGETTO  
STRUTTURALE

- 6.1 **ANALISI PRELIMINARI**
- 6.2 **PROGETTO DELLA STRUTTURA**
- 6.3 **VERIFICHE AGLI STATI LIMITE**
  - 6.3.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO
  - 6.3.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI
  - 6.3.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI
- 6.4 **AZIONI SULLA COSTRUZIONE**
  - 6.4.1 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI ( $G_2$ )
  - 6.4.2 CARICHI VARIABILI
  - 6.4.3 AZIONE SISMICA
  - 6.4.4 AZIONE DEL VENTO
  - 6.4.5 AZIONI DELLA NEVE
- 6.5 **DIMENSIONAMENTI E VERIFICHE**
  - 6.5.1 SOLAI INTERPIANO
  - 6.5.2 SOLAI DI COPERTURA
  - 6.5.3 TRAVI IN ACCIAIO
  - 6.5.4 PILASTRI IN ACCIAIO
  - 6.5.5 UNIONI BULLONATE
  - 6.5.6 TRAVE RETICOLARE
  - 6.5.7 ELEMENTO A SBALZO DELLE SCHERMATURE
  - 6.5.8 AZIONI SUI CONTROVENTI

## PREMESSA

In questo capitolo si analizza la struttura portante del progetto architettonico, verificandone gli elementi che la compongono, secondo i dettami del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 "*Nuove norme tecniche per le costruzioni*".

Secondo quanto prescritto da suddetta norma si valutano le azioni esterne che caratterizzano il contesto geografico di collocazione del progetto, seguite dalla valutazione dei pesi propri e dei carichi accidentali connessi alla destinazione d'uso.

Non vengono in questa sede verificate singolarmente tutte le componenti della struttura, ma si effettua un controllo su quelle ritenute più critiche ai fini della valutazione sulla reale fattibilità dell'intervento ipotizzato.

## 6.1 ANALISI PRELIMINARI

L'approccio iniziale alla progettazione strutturale consiste nell'analisi geomorfologica del sito di progetto; a tal proposito si fa riferimento alla *Relazione illustrativa e norme geologiche* del PGT del Comune di Milano, versione dell'Ottobre 2012.

L'area della Pianura Lombarda è caratterizzata da una stratificazione di depositi fluviali e fluvioglaciali. Il territorio del Comune di Milano si distingue per una forte alterazione delle naturali dinamiche geomorfologiche in seguito ad un'intensa azione antropica: il reticolo idrografico risulta intensamente regimato, specie in seguito ad una progressiva impermeabilizzazione del suolo cittadino.

Come si evince dalla tavola *G.01/2* della *Carta Litologica* l'area di progetto presenta depositi superficiali di tipo G1 secondo la classificazione ERSAL, di cui si riporta un'estratto della tabella esplicativa presente nella *Relazione illustrativa* del PGT.

Tab.001 Classificazione ERSAL

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

Dalla tavola *G02/2* della *Carta Idrogeologica* si verifica come l'area di progetto non sia interessata da vincoli idrogeologici di rilievo; il livello della falda acquifera è a quota 103-104 mslm, mentre il piano di campagna è ad un'altitudine di 122 mslm: questo permette di edificare livelli interrati fino ad una profondità massima di 16-17 metri prima di intercettare la falda.

Infine nella tavola *G06/2D* della *Carta della fattibilità geologica* si rileva che l'intero quartiere è classificato in zona F2 a fattibilità con modeste limitazioni.

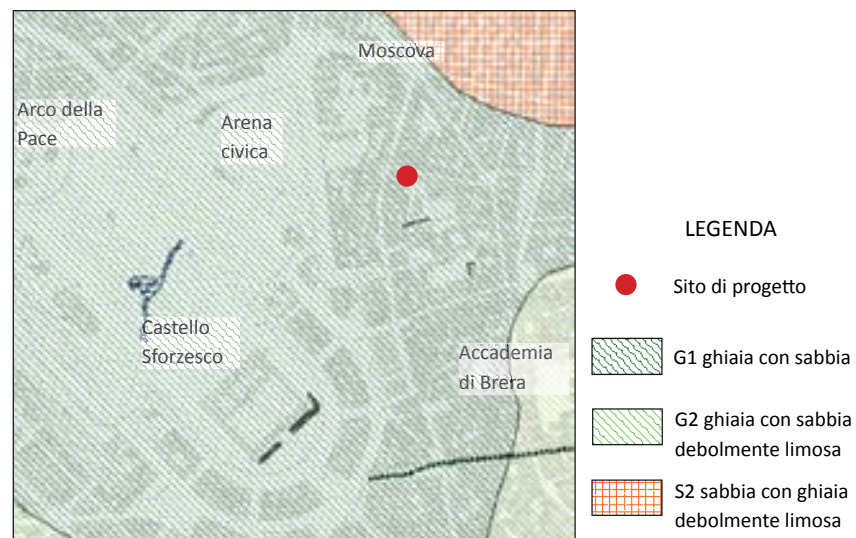


Fig.001 Estratto della tavola G\_01\_Carta Litologica\_2\_N-E

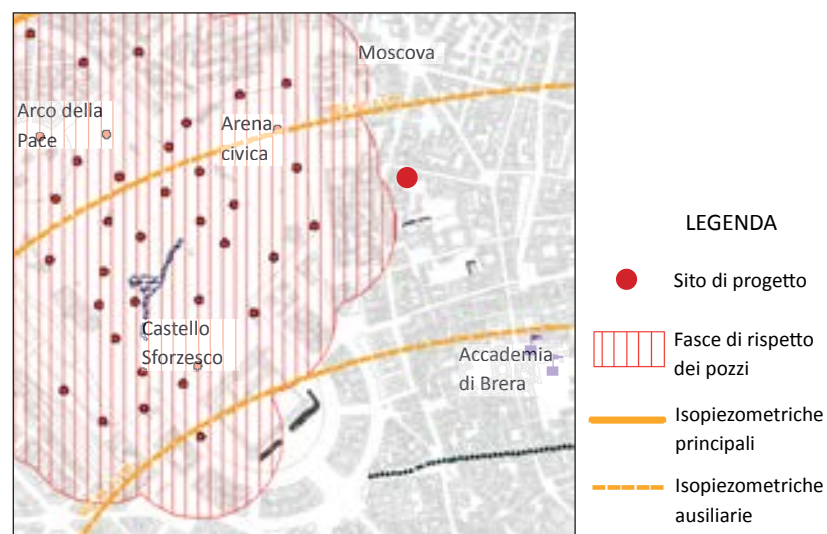


Fig.002 Estratto della tavola G\_02\_Carta Idrogeologica\_2\_N-E



## 6.2 PROGETTO DELLA STRUTTURA

La tecnologia costruttiva scelta consiste in un telaio puntiforme in acciaio per quanto riguarda i piani fuori terra, compatibile con il sistema a S/R scelto per la realizzazione dell'edificio.

Limitatamente ai livelli interrati ed al blocco scale contenente il cavedio dell'ascensore si ricorre ad una struttura in calcestruzzo armato. In questo modo si sfrutta l'inerzia degli elementi cementizi per assorbire e dissipare i carichi orizzontali, mentre il resto della costruzione può essere realizzata mediante sistemi di posa a secco, con i relativi vantaggi di velocità di costruzione, adattabilità, recuperabilità e riutilizzabilità dei materiali.

La caratteristica fondamentale che si riscontra in tutti i piani dell'edificio, considerate le dimensioni ridotte dello stesso, riguarda la scelta di realizzare delle piante libere, concentrando le strutture verticali sul perimetro. In questo modo è stato definito un modulo di 2,5 m per 7,5 m, che permette di avere solai costituiti da lamiera grecata prive di getti collaboranti, con l'effetto di un ulteriore alleggerimento dei carichi gravanti sulla struttura principale.

Un ultimo punto di rilievo riguarda la decisione, derivante da considerazioni illuminotecniche, di realizzare la porzione dell'edificato con orientamento Nord-Sud ribassando le quote dei piani di 1,9 m rispetto a quelle della porzione di edificio con orientamento Est-Ovest.

### ELEMENTI IN C.A.

In seguito alla irregolarità in alzato del progetto, prima descritta, e alle ridotte dimensioni del lotto, si è scelto di limitare gli scavi. Sono presenti due livelli interrati in corrispondenza della porzione di edificio parallela a via Palermo; relativamente alla porzione con dislivello del fabbricato si realizza solo la parte seminterrata del piano terreno; mentre nella parte terminale a sud vi è un solo livello interrato.

Data la suddetta particolare conformazione degli interrati, si è deciso di ricorrere a delle fondazioni a piastra, sormontate da muri controterra perimetrali, le cui spinte orizzontali sono bilanciate mediante le travi in acciaio che rendono solidali setti opposti in C.A. sui lati lunghi e che reggono i solai interni.

Fuori terra come elemento strutturale in conglomerato cementizio si trova solamente il blocco di distribuzione ai piani che prosegue dai livelli interrati fino alla copertura.

### ELEMENTI IN ACCIAIO

La struttura dei piani fuori terra è costituita da travi e pilastri in acciaio che, con il loro montaggio a connessioni di tipo meccanico, permettono tempi di costruzione più rapidi rispetto al conglomerato cementizio; in aggiunta ai vantaggi di maggior leggerezza dei componenti e di organizzazione del cantiere edile.

Dato che si vuole evitare di irrigidire le connessioni trave-pilastro del telaio strutturale, essendo il controvento in C.A. non in posizione baricentrica rispetto alla pianta, si rendono necessarie ulteriori controventature verticali poste in prossimità degli estremi Ovest e Sud dell'edificio. In questo modo si contengono le deformazioni in piano dovute a sforzi torsionali derivanti dall'eccentricità dei punti di applicazione delle spinte orizzontali rispetto alla posizione del blocco scale.

Tutti i solai, ad esclusione solamente di quello controterra, sono realizzati mediante lamiera grecata senza l'ausilio di getti collaboranti; questo contribuisce a ridurre i carichi sulla struttura a telaio ma, allo stesso tempo, riduce la rigidità dei piani: pertanto tutti i piani sono controventati orizzontalmente.

Sono presenti inoltre degli elementi a sbalzo, quali le schermature delle serre bioclimatiche e i terrazzi, caratterizzati da requisiti di leggerezza e basso impatto visivo. L'utilizzo di profilati cavi a sezione rettangolare, imbullonati al telaio principale e connessi ad incastro, consente di rispettare i requisiti di rigidità di tali strutture contenendone le dimensioni nei limiti prestabiliti.

## 6.3 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Come prescritto nel Paragrafo 2.1 del DM del 14/1/2008, **Norme Tecniche per le Costruzioni**: *“Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.”*

La sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una sua parte devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale della stessa.

*“Lo stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata”.*

In particolare, secondo quanto specificato nella norma, le opere 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, comportare la perdita di beni, provocare gravi danni ambientali e sociali o 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 comporta il collasso della struttura.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può anche essere reversibile.

### 6.3.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

La **vita nominale** di un’opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I della norma: per edifici residenziali si assume un valore  $V_N \geq 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in **classi d’uso**: l’edificio oggetto di progettazione rientra nella *Classe II*, ovvero *“costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali”*.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un **periodo di riferimento**  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d’uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N * C_U \quad (\text{Formula 2.4.1 della norma})$$

Il valore del coefficiente d’uso  $C_U$  è definito nella tabella Tab. 2.4.II di suddetta norma, al variare della classe d’uso: in questo caso si assume il valore unitario di tale coefficiente; pertanto il periodo di riferimento di progetto risulta  $V_R = 50$  anni.

### 6.3.2 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

Per **azione** nella normativa si intende una causa o un insieme di cause capaci di indurre stati limite in una struttura.

Le azioni vengono classificate in base a:

- il modo in cui esse si esplicano

- *dirette*: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- *indirette*: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo;
- *degrado*: endogeno, quando vi è un'alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale, esogeno, se l'alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti avviene a causa di agenti esterni;

- la risposta strutturale

- *statiche*: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- *pseudo statiche*: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- *dinamiche*: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti;

- la 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

- ( $G_1$ ) *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);

- ( $G_2$ ) *peso proprio di tutti gli elementi non strutturali*;

- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;

- (P) *pretensione e precompressione*;

- *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 continuamente, 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.

### 6.3.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite il DM 14/1/2008 definisce le seguenti **combinazioni delle azioni**.

*Combinazione fondamentale*, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_P * P + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \gamma_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + \gamma_{Q3} * \psi_{03} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.1 della norma)

*Combinazione caratteristica (rara)*, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} * Q_{k2} + \psi_{03} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.2 della norma)

*Combinazione frequente*, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.3 della norma)

*Combinazione quasi permanente (SLE)*, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.4 della norma)

*Combinazione sismica*, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.5 della norma)

*Combinazione eccezionale*, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$ :

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

(Formula 2.5.6 della norma)

Nelle combinazioni per SLE, sono da omettere i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Nella Tab. 2.6.I della norma sono esplicitati il significato e il valore da assumere nelle verifiche dei seguenti simboli:

-  $\gamma_{G1}$  posto pari a 1,3 in condizione sfavorevole, è il coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;

-  $\gamma_{G2}$  posto pari a 1,5 in condizione sfavorevole, è il coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

-  $\gamma_{Qi}$  posto pari a 1,5 in condizione sfavorevole, è il coefficiente parziale delle azioni variabili.

Dalla tabella 2.5.I si estrapolano di seguito i valori dei coefficienti di combinazione relativi alle destinazioni d'uso di progetto:

Tab.002 Estratto della tabella 2.5.I del DM 14/1/2008

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ mslm)	0,5	0,2	0,0
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

## 6.4 AZIONI SULLA COSTRUZIONE

### 6.4.1 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI ( $G_2$ )

Come esplicitato nel Paragrafo 3.1.3 delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti.

In particolare, come da Paragrafo 3.1.3.1, per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni, il peso proprio di elementi divisorii interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito  $g_{2k}$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico.

Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  così definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisorii con  $G_2 \leq 1,00$  kN/m:  $g_2 = 0,40$  kN/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisorii con  $1,00 < G_2 \leq 2,00$  kN/m:  $g_2 = 0,80$  kN/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisorii con  $2,00 < G_2 \leq 3,00$  kN/m:  $g_2 = 1,20$  kN/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisorii con  $3,00 < G_2 \leq 4,00$  kN/m:  $g_2 = 1,60$  kN/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisorii con  $4,00 < G_2 \leq 5,00$  kN/m:  $g_2 = 2,00$  kN/m<sup>2</sup>.

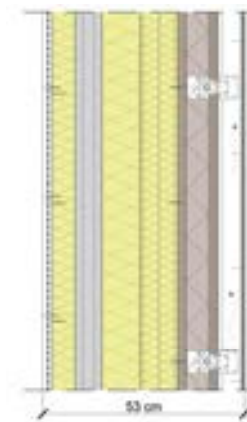
Di seguito si riporta un riepilogo dettagliato dei carichi relativamente ai pacchetti tecnologici determinanti per il dimensionamento della struttura; per completezza sono riassunti in forma breve anche i carichi degli elementi tecnici definiti nel progetto ma di secondaria importanza al fine del calcolo strutturale.

Si considera il peso dei singoli strati, ottenuto moltiplicando la densità del materiale per il rispettivo spessore o applicando il peso al m<sup>2</sup> quando indicato nella scheda tecnica dei produttori.

Nel caso degli elementi verticali si assume inoltre un'altezza di interpiano pari a 3,7 m.

#### CHIUSURE VERTICALI

- C.V.01:

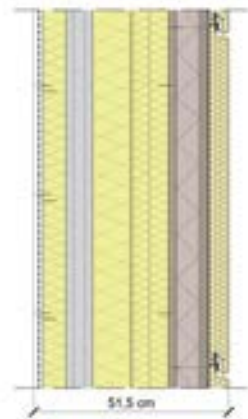


Tab.003 CV01 Chiusura verticale con finitura esterna in pannelli in fibrocemento

Strato	Spessore	Massa	Peso
	[m]	[kg/m]	[kN/m]
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
Isolante termico in lana di pecora	0,06	6,7	0,07
Elemento prefabbricato in legno X-LAM	0,072	125,2	1,23
Isolante termico in lana di pecora	0,1	11,1	0,11
Struttura secondaria in acciaio zincato	0,1	23	0,23
Isolante termico in lana di pecora	0,1	11,1	0,11
Pannello in legno OSB	0,018	43,3	0,42
Isolante termico in fibra di legno	0,06	28,86	0,28
Isolante termico in legno mineralizzato	0,025	42,55	0,42
Sistema di facciata ventilata Rockpanel	0,06 + 0,009	35,5	0,35
<b>TOT</b>	<b>0,55</b>		<b>3,79</b>



- C.V.02:



Tab.004 CV02 Chiusura verticale con finitura esterna in acciaio CorTen

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m]	Peso [kN/m]
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
Isolante termico in lana di pecora	0,06	6,7	0,07
Elemento prefabbricato in legno X-LAM	0,072	125,2	1,23
Isolante termico in lana di pecora	0,1	11,1	0,11
Struttura secondaria in acciaio zincato	0,1	23	0,23
Isolante termico in lana di pecora	0,1	11,1	0,11
Pannello in legno OSB	0,018	43,3	0,42
Isolante termico in fibra di legno	0,06	28,86	0,28
Isolante termico in legno mineralizzato	0,025	42,55	0,42
Pannelli sandwich in acciaio CorTen	0,05	55,5	0,54
<b>TOT</b>	<b>0,53</b>		<b>3,87</b>

## PARTIZIONI VERTICALI INTERNE

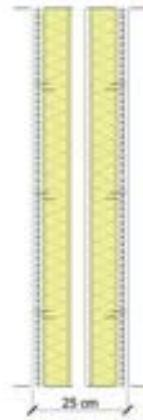
- P.V.I.01 e P.V.I.02



Tab.005 PVI01 Partizione verticale interna

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m]	Peso [kN/m]
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
Isolante termico in lana di pecora	0,05	5,5	0,05
Doppia struttura secondaria in acciaio zincato	0,055 + 0,05	7	0,14
Intercapedine d'aria	0,02	-	-
Isolante termico in lana di pecora	0,05	5,5	0,05
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
<b>TOT</b>	<b>0,15</b>		<b>1,63</b>
<b>CARICO UNIFORME EQUIVALENTE [kN/m²]</b>			<b>0,80</b>

- P.V.I.03



Tab.006 PVI01 Partizione verticale interna tra unità abitative

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m]	Peso [kN/m]
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
Isolante termico in lana di pecora	0,07	7,77	0,08
Doppia struttura secondaria in acciaio zincato	0,055 + 0,05	8	0,16
Intercapedine d'aria	0,0325	-	-
Lastra singola in cartongesso	0,0125	35,2	0,34
Isolante termico in lana di pecora	0,07	7,77	0,08
Doppia lastra di cartongesso	0,025	70,3	0,69
<b>TOT</b>	<b>0,25</b>		<b>2,04</b>
<b>CARICO UNIFORME EQUIVALENTE [kN/m<sup>2</sup>]</b>			<b>1,20</b>

## CHIUSURE ORIZZONTALI

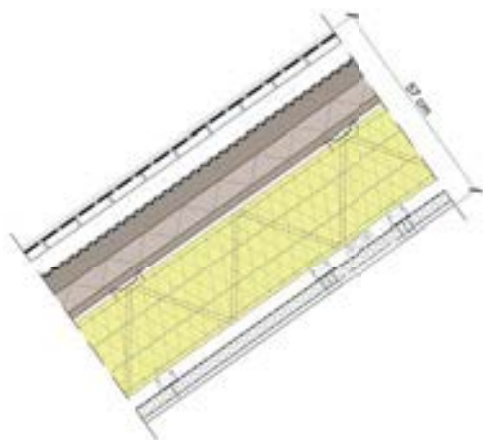
- C.O.01



Tab.007 CO01 Chiusura orizzontale praticabile con sistema a tetto giardino tipo intensivo

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m <sup>2</sup> ]	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]
Terreno vegetale	0,25	337,5	3,31
Separazione e filtro in fibre di propilene	0,0013	1,2	0,01
Stoccaggio e drenaggio dell'acqua	0,06	17	0,17
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,007	6,3	0,06
Isolamento termico in polistirene estruso	0,1	4	0,04
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	33,6	0,33
Lamiera grecata H150 sp 1,5 mm	0,15	28	0,27
Isolante termico in lana di pecora	0,24	7,2	0,07
Sistema di controsoffitto radiante	0,045	14,2	0,14
<b>TOT</b>	<b>0,94</b>		<b>4,14</b>

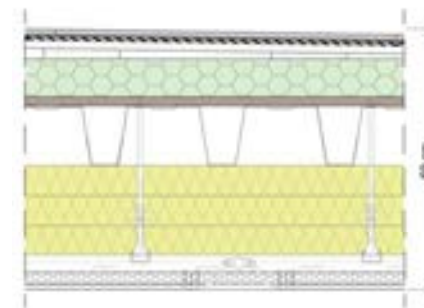
- C.O.02



Tab.008 CO02 Chiusura inclinata

Strato	Spessore	Massa	Peso
	[m]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Pannelli solari ibridi	0,045	21,9	0,21
Finitura in nastri graffati di zinco-titanio	0,001	7,2	0,07
Separazione e filtro in fibre di propilene	0,0013	1,2	0,01
Assito ligneo	0,05	30	0,29
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,007	6,3	0,06
Isolante termico in legno mineralizzato	0,05	18	0,18
Isolamento termico in fibra di legno	0,06	7,8	0,08
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	33,6	0,33
Isolante termico in lana di pecora	0,24	7,2	0,07
Sistema di controsoffitto radiante	0,045	14,2	0,14
<b>TOT</b>	<b>0,53</b>		<b>1,43</b>

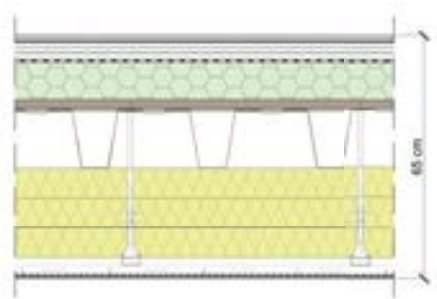
- C.O.03



Tab.009 CO03 Chiusura orizzontale praticabile

Strato	Spessore	Massa	Peso
	[m]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Pavimentazione posata a secco	0,014	23,8	0,23
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,007	6,3	0,06
Assito ligneo di pendenza	0,02	9,4	0,09
Isolamento termico in polistirene estruso	0,1	4	0,04
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	32,4	0,32
Lamiera grecata H150 sp 1,5 mm	0,15	28	0,27
Isolante termico in lana di pecora	0,24	7,2	0,07
Sistema di controsoffitto radiante	0,045	14,2	0,14
<b>TOT</b>	<b>0,70</b>		<b>1,23</b>

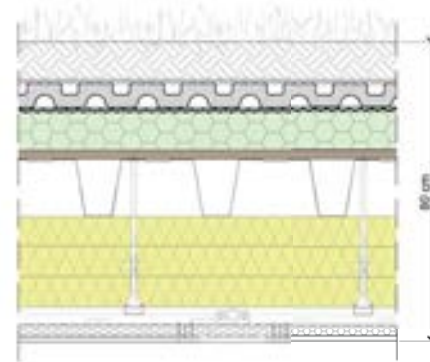
- C.O.04



Tab.010 CO04 Chiusura orizzontale su spazi aperti

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m <sup>2</sup> ]	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]
Pavimentazione in parquet	0,018	10,8	0,11
Pavilastre	0,025	26,8	0,26
Sottofondo in argilla espansa	0,02	8	0,08
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,004	3,6	0,04
Isolamento termico in polistirene estruso	0,1	4	0,04
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	32,4	0,32
Lamiera grecata H150 sp 1,5 mm	0,15	28	0,27
Isolante termico in lana di pecora	0,24	7,2	0,07
Finitura in lastre di fibrocemento	0,009	9,6	0,09
<b>TOT</b>	<b>0,70</b>		<b>1,28</b>

- C.O.05

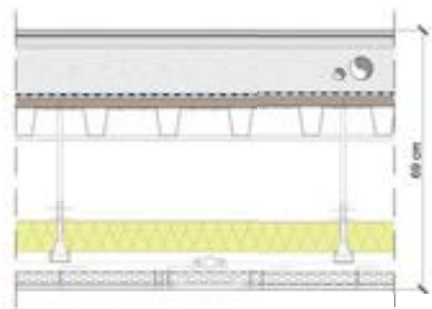


Tab.011 CO05 Chiusura orizzontale praticabile con sistema a tetto giardino tipo estensivo

Strato	Spessore [m]	Massa [kg/m <sup>2</sup> ]	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]
Terreno vegetale	0,1	110	1,08
Separazione e filtro in fibre di propilene	0,0013	1,2	0,01
Stoccaggio e drenaggio dell'acqua	0,06	17	0,17
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,007	6,3	0,06
Isolamento termico in polistirene estruso	0,1	4	0,04
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	33,6	0,33
Lamiera grecata H150 sp 1,5 mm	0,15	28	0,27
Isolante termico in lana di pecora	0,24	7,2	0,07
Sistema di controsoffitto radiante	0,045	14,2	0,14
<b>TOT</b>	<b>0,94</b>		<b>2,17</b>

## PARTIZIONI ORIZZONTALI INTERNE

- P.O.I.01



Tab.012 POI01 Partizione orizzontale interna

Strato	Spessore	Massa	Peso
	[m]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Pavimentazione in parquet industriale	0,018	10,8	0,11
Pavilastre	0,025	26,8	0,26
Sottofondo in argilla espansa	0,12	48	0,47
Manto impermeabilizzante elastoplastomerico	0,004	3,6	0,04
Isolante acustico in gomma riciclata	0,008	4	0,04
Pannelli in legno mineralizzato	0,024	33,6	0,33
Lamiera grecata EPS75/570 sp 1,2mm	0,075	16,5	0,16
Isolante termico in lana di pecora	0,08	2,4	0,02
Sistema di controsoffitto radiante	0,045	14,2	0,14
<b>TOT</b>	<b>0,70</b>		<b>1,57</b>

## ELEMENTI TECNICI RIMANENTI

Tab.013 Pesi dei rimanenti elementi tecnici di progetto

Elemento tecnico	Spessore	Peso	Peso Eq.
	[m]	[kN/m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
C.V.03 Chiusura verticale con struttura in C.A.	0,55	29,3	-
C.V.04 Chiusura verticale controterra	0,6	34,2	-
P.V.I.01a Alternativa in calcestruzzo cellulare	0,15	3,05	1,60
C.O.I.01 Chiusura orizzontale controterra	1,05	-	15,51
P.O.I.02 Partizione orizzontale piano soppalco	0,30	-	1,43
P.O.E.01 Partizione orizzontale esterna	0,30	-	1,07



## 6.4.2 CARICHI VARIABILI

Come esplicitato nel Paragrafo 3.1.4 del DM del 14/1/2008: “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  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>]

- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN]

- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m]”

I valori di riferimento per questa tipologia di carichi sono riportati nella Tab. 3.1. della norma, in funzione della destinazione d’uso degli ambienti. Di seguito si riporta un estratto di suddetta tabella per quanto riguarda le funzioni previste nel progetto.

Tab.014 Carichi di esercizio per tipologia d’uso, estratto della norma

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi i locali di abitazione e relativi servizi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Ristoranti, caffè.	3,00	2,00	1,00
C	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni.	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali sale per esposizioni, sale da ballo, edifici per eventi pubblici.	5,00	5,00	3,00
	Coperture e sottotetti			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
H	Cat. H2 Coperture praticabili	Secondo la categoria di appartenenza		

Nell’edificio oggetto di progettazione è prevista una destinazione d’uso di tipo residenziale in tutti i piani al di sopra del piano terreno; quest’ultimo è adibito a funzioni pubbliche quali caffetteria e sale espositive. Il primo piano interrato contiene servizi per la funzione pubblica, locali impiantistici e una parte delle cantine per le residenze; il secondo piano interrato contiene le rimanenti cantine.

Di seguito si riporta un riepilogo delle destinazioni d’uso per singolo piano ed i relativi carichi variabili di riferimento per il calcolo strutturale.

Tab.015 Pesì dei rimanenti pacchetti tecnologici di progetto

Piano	Ambienti	Cat.	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
-2	Cantine	A	2,00	2,00	1,00
	Locale impianti	Carichi definiti puntualmente			
-1	Cantine	A	2,00	2,00	1,00
	Servizi della sala esposizioni	C3	5,00	5,00	3,00
	Sala esposizioni	C3	5,00	5,00	3,00
0	Caffetteria	C1	3,00	2,00	1,00
	Residenze	A	2,00	2,00	1,00
1	Terrazzi	C2	4,00	4,00	2,00
	Copertura a verde non praticabile	H1	0,50	1,20	1,00
	Residenze	A	2,00	2,00	1,00
2	Terrazzi	C2	4,00	4,00	2,00
	Residenze	A	2,00	2,00	1,00
3	Terrazzi e coperture praticabili	C2	4,00	4,00	2,00
	Copertura a verde non praticabile	H1	0,50	1,20	1,00
	Residenze	A	2,00	2,00	1,00
4	Terrazzi e coperture praticabili	C2	4,00	4,00	2,00
	Residenze	A	2,00	2,00	1,00
5	Coperture praticabili	C2	4,00	4,00	2,00
	Copertura a falde non praticabile	H1	0,50	1,20	1,00

### 6.4.3 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla **pericolosità sismica di base** del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , definite nel paragrafo 3.2.1 delle norme tecniche, nel periodo di riferimento  $V_R$ , pari a 50 anni come calcolato precedentemente.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , 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.

Tali parametri sono ottenuti mediante l'utilizzo del software di calcolo dell'azione sismica messo a disposizione dal Ministero dei Lavori Pubblici, denominato Spettri di risposta, attualmente presente nella versione 1.0.3 e che fa riferimento al DM del 14 Gennaio 2008, relativo all'approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Una volta selezionate la regione, la provincia e il comune del sito di progetto, il software ha fornito lo spettro di risposta elastico per diversi periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento, riportati nelle immagini seguenti.



Fig.003 Collocazione del sito di progetto, software Spettri di risposta

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,019	2,555	0,160
50	0,024	2,549	0,190
72	0,028	2,569	0,204
101	0,031	2,579	0,218
140	0,035	2,600	0,229
201	0,038	2,628	0,249
475	0,049	2,657	0,280
975	0,059	2,696	0,299
2475	0,075	2,783	0,316

Fig.004 Tabella dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta

Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_a$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$

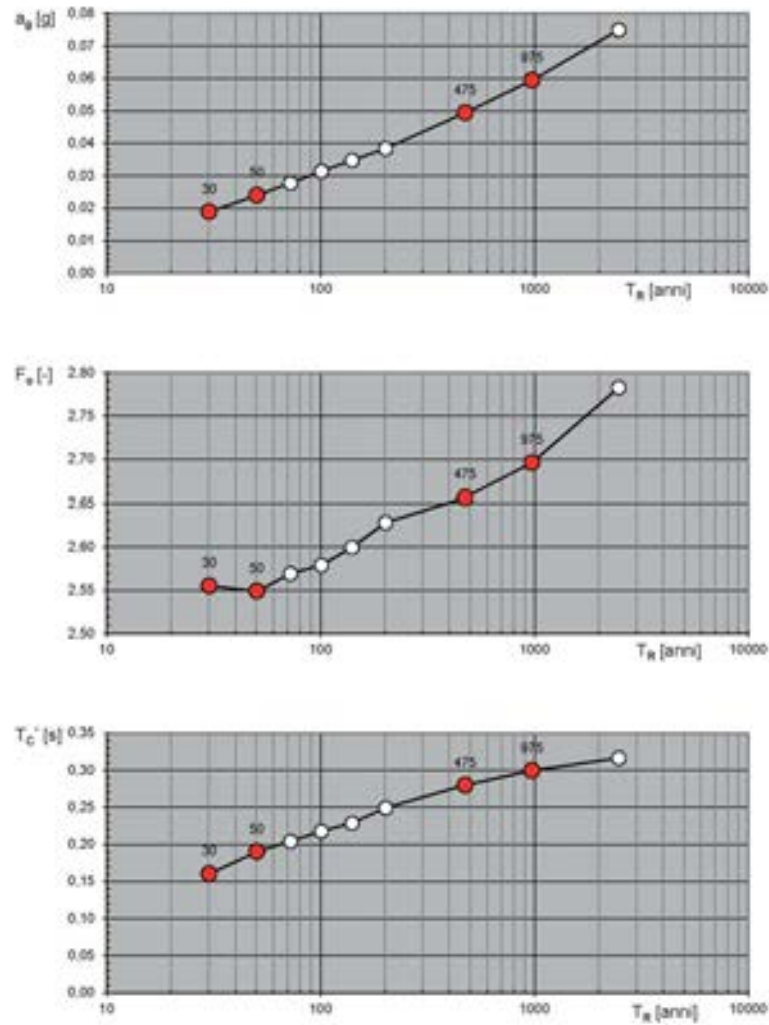
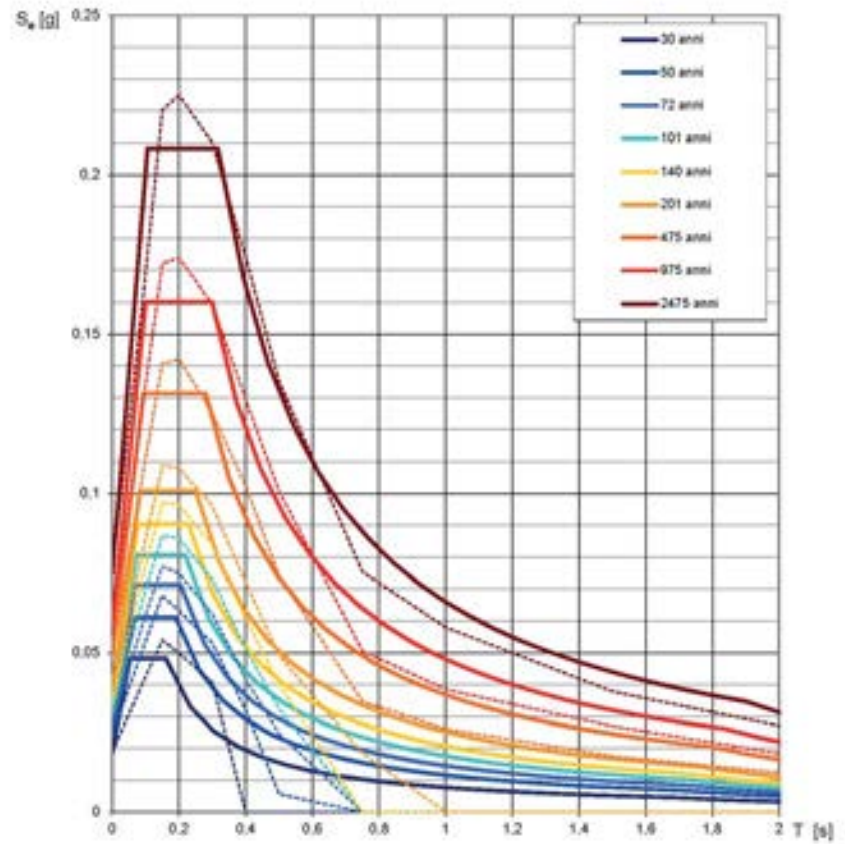


Fig.005 Interpolazione dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento



NOTA:  
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig.006 Grafico degli spettri di risposta elastici, software Spettri di risposta

## STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio, come definiti nel paragrafo 3.2.1 del DM del 14 gennaio 2008, sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO), secondo il quale a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD), secondo il quale a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi, definiti nel medesimo paragrafo della norma, sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), per il quale a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), per cui a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , alle quali riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I della normativa.

Tab.016 Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite

Stati limite		$P_{VR}$
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

In particolare nel paragrafo 7.1 della norma relativo ai requisiti per la progettazione per azioni sismiche, si impone che sotto l'effetto di tali azioni, deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio, individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, che comprende:

- il volume significativo di terreno, ovvero la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso;
- le strutture di fondazione;
- gli elementi strutturali;
- gli elementi non strutturali;
- gli impianti.

In mancanza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo SLD;
- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel capitolo 7 del DM del 14 gennaio 2008 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV.

Per contenere le incertezze e garantire un buon comportamento delle strutture sotto azioni sismiche, devono essere adottati provvedimenti specifici volti ad assicurare caratteristiche di duttilità agli elementi strutturali ed alla costruzione nel suo insieme.

Le strutture di fondazione devono resistere agli effetti risultanti della risposta del terreno e delle strutture sovrastanti, senza spostamenti permanenti incompatibili con lo stato limite di riferimento.

Come si evince dall'allegato A alle norme tecniche, le forme spettrali previste sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento che consentono, una volta fissate, di individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni.

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Di seguito si riportano i valori di riferimento ottenuti per il progetto in esame, seguiti dai rispettivi grafici ricavati dal software Spettri di risposta.

Tab.017 Riepilogo dei parametri calcolati per il progetto

Stato limite	$V_R$ [anni]	$P_{VR}$ [%]	$T_R$ [anni]
SLD	50	63	50,29
SLV	50	10	474,56



Fig.007 Tempo di ritorno di progetto, software Spettri di risposta

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,019	2,555	0,160
SLD	50	0,024	2,549	0,190
SLV	475	0,049	2,656	0,280
SLC	975	0,059	2,696	0,299

Fig.008 Tabella dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta

I grafici sopra riportati riguardano i dati forniti dal software Spettri di risposta, in relazione alle verifiche per gli stati limite definiti dalla normativa.



### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

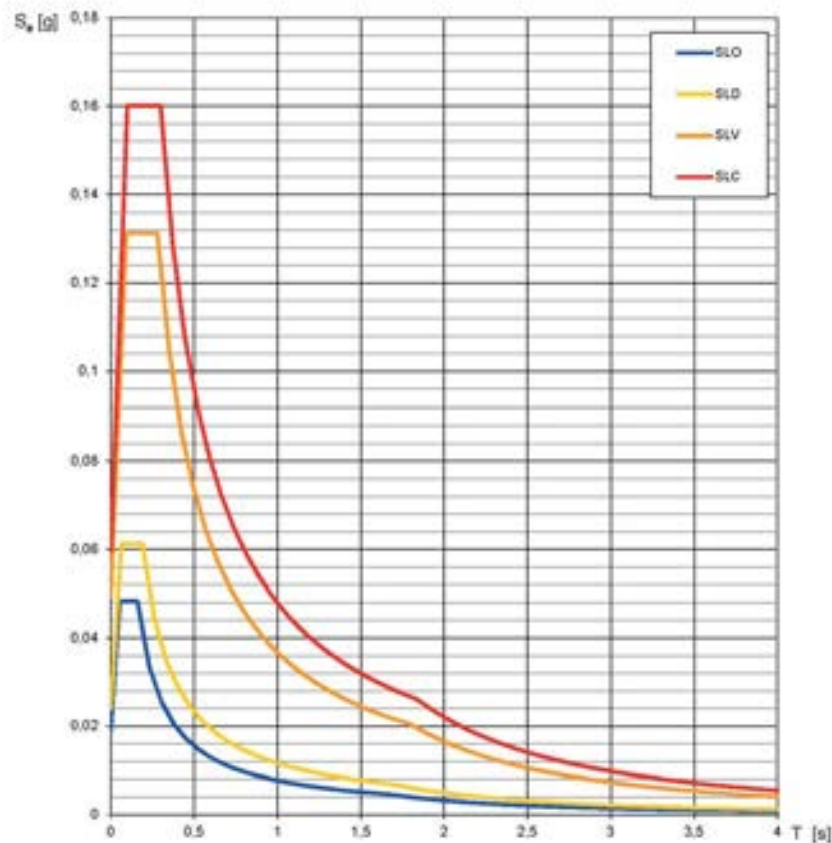


Fig.009 Grafico degli spettri di risposta elastici, software Spettri di risposta

Una volta determinati i valori di  $T_R$  per i diversi stati limite è possibile ottenere le forme dello spettro di risposta di progetto per il sito, costruzione, situazione d'uso, e stato limite considerati.

### CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Come esposto al paragrafo 3.2.2 del DM del 14 gennaio 2008, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 o, in assenza di tali analisi, si può utilizzare un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento riportate nelle tabelle 3.2.II e 3.2.III della norma.

In particolare, secondo le definizioni di seguito riportate e le analisi preliminari sul sito di progetto, il suolo appartiene alla categoria C, con topografia di tipo T1.

Tab.018 Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tab.019 Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

#### VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Secondo quanto riportato nel paragrafo 3.2.3.1 della norma, l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale, da considerare tra di loro indipendenti.

In particolare al paragrafo 7.2.1 si specifica che le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidità e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche, mentre la componente verticale deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi, con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m, elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso o edifici con piani sospesi.

Le suddette componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico; in base a quanto esposto, la componente che descrive il moto verticale non viene considerata.

Come stabilito al paragrafo 3.2.3.2.1 della norma, si ottiene lo spettro di risposta elastico in accelerazione per le componenti orizzontali, cioè lo spettro di progetto che permette di determinare l'entità delle forze agenti sull'edificio.

I calcoli in dettaglio sono eseguiti mediante il software fornito dal Ministero.

Per qualsiasi probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti (Formule 3.2.4 della norma):

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

dove

T ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente,

$$S = S_s * S_T \quad (\text{Formula 3.2.5 della norma})$$

essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica, entrambi ricavati dalle tabelle riportate di seguito e nelle quali g è l'accelerazione di gravità e il tempo è espresso in secondi;

Tab.020 Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_0 * a_g / g \leq 1,20$	$1,10 * (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 * F_0 * a_g / g \leq 1,50$	$1,05 * (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 * F_0 * a_g / g \leq 1,80$	$1,25 * (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 * F_0 * a_g / g \leq 1,60$	$1,15 * (T_c^*)^{-0,40}$

Tab.021 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = (10 / (5 + \xi))^{1/2} \geq 0,55 \quad (\text{Formula 3.2.6 della norma})$$

dove  $\xi$ , espresso in percentuale, è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

$T_c$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da  $T_c = C_c * T_c^*$  (Formula 3.2.7 della norma) i cui termini sono stati definiti precedentemente;

$T_b$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, dato da  $T_b = T_c / 3$  (Formula 3.2.8 della norma);

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione  $T_D = 4,0 * a_g / g + 1,6$  (Formula 3.2.9 della norma).

Come espresso nel paragrafo 7.3.2 delle norme tecniche, per le sole costruzioni la cui risposta sismica, in ogni direzione principale, non dipenda significativamente dai modi di vibrare superiori, è possibile utilizzare, sia su sistemi dissipativi sia su sistemi non dissipativi, il metodo delle forze laterali o "analisi lineare statica". In essa l'equilibrio è trattato staticamente, l'analisi della struttura è lineare, si modella l'azione sismica direttamente attraverso lo spettro di progetto.

In particolare, secondo l'analisi statica lineare riportata nel paragrafo 7.3.3.2 del DM del 14 gennaio 2008, si considera l'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica.

Tale analisi può essere effettuata a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame  $T_1$  non superi di 2,5 volte  $T_c$  o  $T_D$  e che la costruzione sia regolare in altezza.

Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza,  $T_1$  può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 * H^{3/4} \quad (\text{Formula 7.3.5 della norma})$$

dove

$H$  è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione;

$C_1$  vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

Nel progetto è definita una struttura mista in acciaio con controventi in calcestruzzo, pertanto si utilizza il valore più generico di  $C_1$  pari a 0,050; considerata l'altezza del fabbricato di circa 30,46 metri rispetto al livello di fondazione, si ricava un periodo del modo di vibrare principale  $T_1 = 0,648$ .

Pertanto lo spettro di risposta, per entrambi gli stati limite considerati, è calcolato in corrispondenza del  $T = T_1 = 0,648$ , che risulta compreso tra  $T_c$  e  $T_D$ , ovvero nel dominio della terza equazione dello spettro elastico.

In conclusione si riporta un riepilogo dei valori che caratterizzano gli spettri di risposta elastica del sisma, nello specifico per i due stati limite precedentemente definiti e calcolati mediante l'utilizzo del software Spettri di risposta, versione 1.0.3, fornito dal Ministero dei Lavori Pubblici.

Tab.022 Riepilogo dei parametri calcolati per il progetto

Stato limite	$a_b$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_s$ [-]	$S_T$ [-]	$S$ [-]
SLD	0,024	2,549	0,19	1,5	1,0	1,5
SLV	0,049	2,656	0,28	1,5	1,0	1,5

Stato limite	$C_c$ [-]	$T_c$ [s]	$T_B$ [s]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_D$ [s]	$T$ [s]
SLD	1,816	0,345	0,115	9,81	1,61	0,648
SLV	1,599	0,448	0,149	9,81	1,62	0,648

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo  $T_1$  e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

### SPETTRI DI PROGETTO PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente  $S_e(T)$ , riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  propria dello stato limite a danno SLD.

Di seguito si riportano i grafici e i valori forniti dal programma del Ministero, in particolare si evidenzia come l'ordinata dello spettro di risposta  $S_d(T)$  in corrispondenza del periodo proprio del progetto si ottiene interpolando i valori immediatamente superiori e inferiori disponibili nei risultati.

Il valore per le verifiche a SLD è quindi  $S_d(T) = 0,05$ .



Fig.010 Spettro di risposta elastico di progetto, software Spettri di risposta

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD**

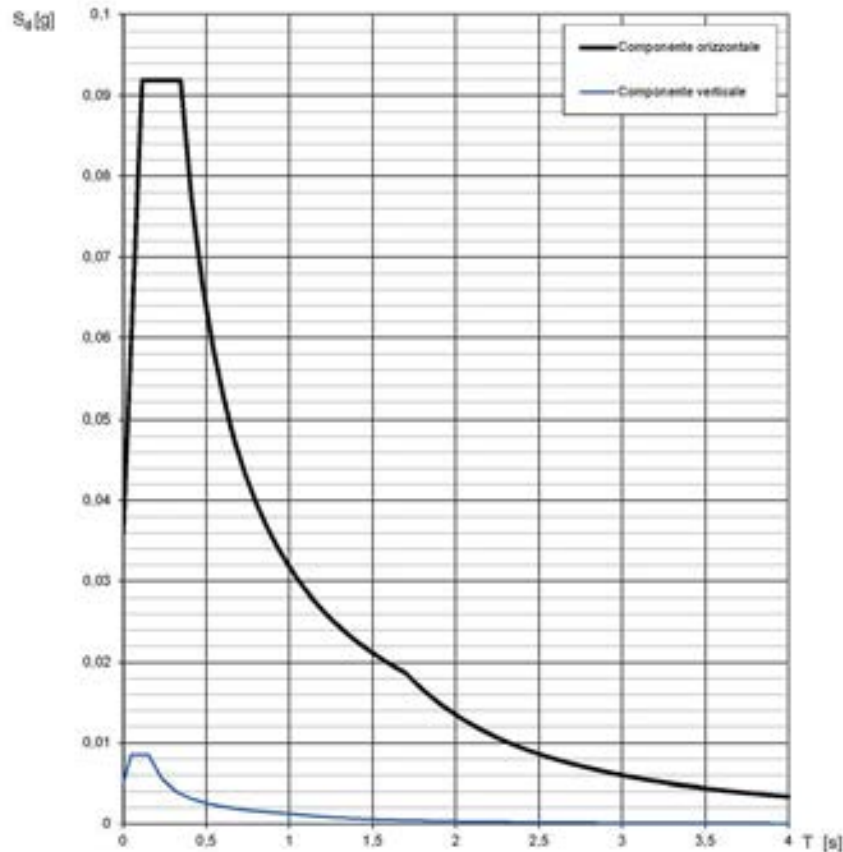


Fig.011 Grafico degli spettri di risposta per la verifica SLD, software Spettri di risposta

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.024 g
$F_a$	2.548
$T_a$	0.190 s
$S_a$	1.500
$C_c$	1.817
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.115 s
$T_C$	0.345 s
$T_D$	1.696 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_a \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 - \xi) \geq 0,55}; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_a / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_c \cdot T_a \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	S <sub>e</sub> (g)
	0.000	0.036
$T_B$ ←	0.115	0.092
$T_C$ ←	0.345	0.092
	0.409	0.077
	0.474	0.067
	0.538	0.059
	0.602	0.053
	0.667	0.047
	0.731	0.043
	0.795	0.040
	0.860	0.037
	0.924	0.034
	0.988	0.032
	1.053	0.030
	1.117	0.028
	1.181	0.027
	1.246	0.025
	1.310	0.024
	1.374	0.023
	1.439	0.022
	1.503	0.021
	1.567	0.020
	1.632	0.019
$T_D$ ←	1.696	0.019
	1.806	0.018
	1.915	0.015
	2.025	0.013
	2.135	0.012
	2.245	0.011
	2.354	0.010
	2.464	0.009
	2.574	0.008
	2.683	0.007
	2.793	0.007
	2.903	0.006
	3.013	0.006
	3.122	0.006
	3.232	0.005
	3.342	0.005
	3.451	0.005
	3.561	0.004
	3.671	0.004
	3.781	0.004
	3.890	0.004
	4.000	0.003

Fig.012 Tabella degli spettri di risposta per la verifica SLD, software Spettri di risposta



## SPETTRI DI PROGETTO PER GLI STATI LIMITE ULTIMI

Dato che le verifiche agli stati limite ultimi non sono effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture, le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarigidità, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  propria dello stato limite di salvaguardia della vita SLV, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule dello spettro  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura definito nel capitolo 7 della normativa.

Nel paragrafo 7.3.1 è infatti espresso che il valore del fattore di struttura  $q$  da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale.

Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 * K_R \quad (\text{Formola 7.3.1 della norma})$$

dove

$q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

$K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a

0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Il progetto prevede una struttura a telaio in acciaio, dove la dissipazione delle azioni orizzontali è affidata a setti di controvento in calcestruzzo armato: secondo il paragrafo 7.6.2.1 della norma, ai fini di valutare l'entità di  $q_0$ , si rimanda alla parte relativa alle strutture in calcestruzzo.

Come già enunciato la tipologia strutturale delle componenti in calcestruzzo armato è del tipo "strutture a pareti", nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti, singole o accoppiate, aventi resistenza a taglio alla base  $\geq 65\%$  della resistenza a taglio totale.

Per questo tipo di struttura il valore di  $q_0$  è definito pari a 3,0 in relazione ad una classe di duttilità bassa; quindi il valore per le verifiche a SLV è  $S_d(T) = 0,056$ .



Fig.013 Spettro di risposta elastico di progetto, software Spettri di risposta

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

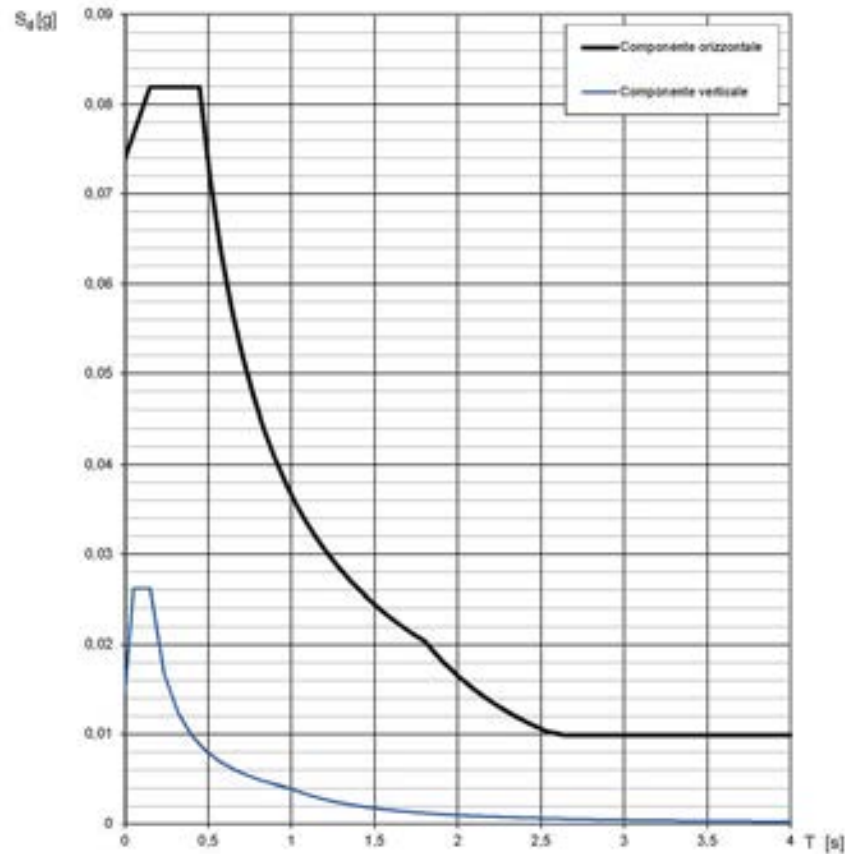


Fig.014 Grafico degli spettri di risposta per la verifica SLV, software Spettri di risposta

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.049 g
$F_a$	2.657
$T_p$	0.280 s
$S_1$	1.500
$C_u$	1.599
$S_2$	1.000
$q$	2.400

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	0.417
$T_B$	0.149 s
$T_C$	0.447 s
$T_D$	1.797 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_1 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 - T)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_u \cdot T_p \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	S <sub>d</sub> [g]
0.000	0.074
0.149	0.082
0.447	0.082
0.511	0.072
0.576	0.064
0.640	0.057
0.704	0.053
0.769	0.048
0.833	0.044
0.897	0.041
0.961	0.038
1.026	0.036
1.090	0.034
1.154	0.032
1.219	0.030
1.283	0.029
1.347	0.027
1.412	0.026
1.476	0.025
1.540	0.024
1.605	0.023
1.669	0.022
1.733	0.021
1.797	0.020
1.962	0.018
2.007	0.016
2.112	0.015
2.217	0.013
2.322	0.012
2.427	0.011
2.532	0.010
2.636	0.010
2.741	0.010
2.846	0.010
2.951	0.010
3.056	0.010
3.161	0.010
3.266	0.010
3.371	0.010
3.476	0.010
3.580	0.010
3.685	0.010
3.790	0.010
3.895	0.010
4.000	0.010

Fig.015 Tabella degli spettri di risposta per la verifica SLV, software Spettri di risposta

## DISTRIBUZIONE DELLE FORZE ORIZZONTALI

Come descritto nel paragrafo 7.3.3.2 delle norme tecniche, la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h * z_i * W_i / \sum_j (z_j * W_j) \quad (\text{Formola 7.3.6 della norma})$$

dove

$$F_h = S_d(T_1) * W * \lambda / g$$

$F_i$  è la forza da applicare alla massa  $i$ -esima;

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi, rispettivamente, della massa  $i$  e della massa  $j$ ;

$z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione, delle masse  $i$  e  $j$ ;

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto;

$W$  è il peso complessivo della costruzione;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se

$T_1 < 2 * T_c$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

In particolare il paragrafo 3.2.4 prescrive che gli effetti dell'azione sismica devono essere valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad (\text{Formola 3.2.17 della norma})$$

I valori dei coefficienti  $\psi_{2j}$  sono stati riportati in precedenza.

Di seguito sono riportate le tabelle con il conteggio delle masse relative ai piani dell'edificio di progetto e le corrispondenti azioni del sisma, prima per la verifica dello stato limite a danno SLD e poi per la verifica dello stato limite di salvaguardia della vita SLV.

Tab.023 Masse di progetto sotto l'azione del sisma

Livello	$G_1$	$G_2$	$\psi_{2j} * Q_j$	$W_j$
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
-1	5.073,1	547,9	108,6	5.729,6
0	4.969,2	987,6	187,2	6.144,0
1	1.013,6	2.037,3	235,2	3.286,1
2	857,9	2.001,3	210,6	3.069,8
3	789,7	1.939,4	342,6	3.071,7
4	688,4	1.498,5	269,4	2.456,3
5	870,1	1.500,3	385,8	2.756,3
<b>Peso totale dell'edificio W [kN]</b>				<b>26.513,8</b>

Tab.024 Forza orizzontale risultante, agente sull'intero edificio, per lo stato limite SLD

$F_h$	$S_d(T_1)$	$W$	$\lambda$	$g$
[kN]	[m/s <sup>2</sup> ]	[kN]	[-]	[m/s <sup>2</sup> ]
114,9	0,050	26513,8	0,85	9,81

Tab.025 Forze orizzontali ai piani sotto l'azione del sisma, per lo stato limite SLD

Livello	$z_i$	$W_i$	$z_i * W_i$	$F_i$
	[m]	[kN]	[kNm]	[kN]
-1	4,4	5729,6	25210,1	8,48
0	7,8	6144,0	47923,1	16,11
1	11,6	3286,1	38119,1	12,82
2	15,3	3069,8	46968,5	15,79
3	19	3071,7	58361,9	19,62
4	22,4	2456,3	55022,2	18,50
5	25,4	2756,3	70009,0	23,54
$\sum z_i * W_i$ [kNm]			<b>341613,9</b>	

Tab.026 Forza orizzontale risultante, agente sull'intero edificio, per lo stato limite SLV

$F_h$	$S_d(T_1)$	$W$	$\lambda$	$g$
[kN]	[m/s <sup>2</sup> ]	[kN]	[-]	[m/s <sup>2</sup> ]
128,7	0,056	26513,8	0,85	9,81

Tab.027 Forze orizzontali ai piani sotto l'azione del sisma, per lo stato limite SLV

Livello	$z_i$	$W_i$	$z_i * W_i$	$F_i$
	[m]	[kN]	[kNm]	[kN]
-1	4,4	5729,6	25210,1	9,49
0	7,8	6144,0	47923,1	18,05
1	11,6	3286,1	38119,1	14,36
2	15,3	3069,8	46968,5	17,69
3	19	3071,7	58361,9	21,98
4	22,4	2456,3	55022,2	20,72
5	25,4	2756,3	70009,0	26,37
$\Sigma z_i * W_i$ [kNm]			341613,9	

Ai fini delle verifiche sui controventi è necessario identificare l'azione peggiore tra quella del sisma e quella del vento; l'evento che provoca le sollecitazioni maggiori per l'edificio è assunto alla base dell'analisi delle reazioni vincolari in corrispondenza dei controventi stessi.

#### 6.4.4 AZIONE DEL VENTO

Nel Paragrafo 3.3.1 delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* si assume che “il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti”.

L'edificio di progetto è caratterizzato da una forma regolare ad “L” in pianta; in alzato si distingue morfologicamente in due corpi: il primo che contiene le residenze si sviluppa per 5 piani fuori terra, dei quali gli ultimi due presentano una struttura gradonata; il secondo corpo, posto a sud, si sviluppa per un'altezza di un solo piano fuori terra e contiene la parte terminale della funzione pubblica che occupa il piano terreno.

Seguendo la procedura indicata nel Paragrafo 3.3 del DM del 14/1/2008 si ricava la forza esercitata dal vento sulle facciate dell'edificio.

#### VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m (Formula 3.3.1 della norma)}$$

dove:

-  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I della norma e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 3.3.1 della norma, di entrambe si riporta di seguito un estratto;

-  $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Tab.028 Estratto della Tabella 3.3.I del DM del 14/1/2008, valori dei parametri  $v_{b,0}$   $a_0$   $k_a$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010

Fig.016 Copia della Fig. 3.3.1 della norma, mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano



Come già accennato, l'altitudine del sito di progetto è pari a circa 122 mslm ed essendo la quota massima raggiunta dal colmo della falda pari a 22,66 m rispetto al suolo, si può assumere  $v_b$  pari a 25 m/s per i calcoli.

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  [N/m<sup>2</sup>] è data dall'espressione:

$$q_b = 0,5 \rho v_b^2 \quad (\text{Formula 3.3.4 della norma})$$

dove:

-  $v_b$  [m/s] è la velocità di riferimento del vento;

-  $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

In seguito alla determinazione della velocità di riferimento eseguita precedentemente si perviene ad un valore di  $q_b$  pari a 391 N/m<sup>2</sup>.

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min} \quad (\text{Formula 3.3.5 della norma})$$

dove:

-  $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II della norma in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

-  $c_t$  è il coefficiente di topografia, posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Fig. 3.3.2 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 3.3.III; gli estratti della norma sono riportati di seguito.

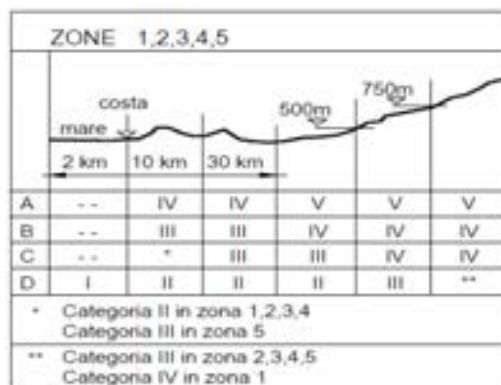


In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Fig. 3.3.2 del DM del 14/1/2008 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 3.3.III di suddetta norma, di cui si riporta un estratto.

Tab.029 Estratto della Tabella 3.3.III del DM del 14/1/2008, classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m

Fig.017 Estratto della Fig. 3.3.2 della norma, definizione delle categorie di esposizione



Per una classe di rugosità di tipo "A" si deduce che il sito di progetto è caratterizzato da una categoria di esposizione "V"; ciò permette di calcolare il coefficiente di esposizione mediante i coefficienti dati nella tabella 3.3.II della normativa di cui si riporta un estratto.

Tab.030 Estratto della Tab. 3.3.II della norma, parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$	$z_{min}$
	[adm]	[m]	[m]
V	0,23	0,70	12

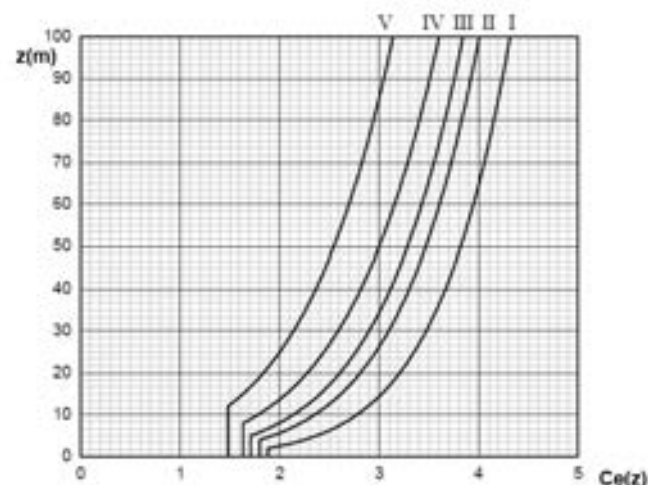


Fig.018 Figura 3.3.3 della norma, andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$

Tab.031 Coefficiente di esposizione per i differenti livelli del progetto

Livello dell'edificio	z	$c_e$
	[m]	[adm]
Primo piano sfalsato	1,90	1,479
Primo piano	3,80	1,479
Secondo piano sfalsato	5,60	1,479
Secondo piano	7,50	1,479
Terzo piano sfalsato	9,30	1,479
Terzo piano	11,20	1,479
Quarto piano sfalsato	13,00	1,533
Quarto piano	14,60	1,613
Copertura piana a giardino sfalsato	16,70	1,707
Piano soppalco	17,60	1,744
Baricentro della copertura a falde	20,78	1,864

$z < z_{min}$  (per i livelli sfalsati)  
 $z \geq z_{min}$  (per i livelli piani)

## COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza: per questo motivo si assume  $c_d = 1$ .

## COEFFICIENTE DI FORMA (O AERODINAMICO)

Le indicazioni per la valutazione del coefficiente di forma, necessario per il calcolo della pressione del vento, sono riportate nella Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM del 14 gennaio 2008", al paragrafo C3.3.10.

Si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni; per la valutazione della pressione esterna si assume:

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione
- sull'orizzontale  $\alpha \geq 60^\circ$ ,  $c_p = +0,8$ ;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ ,  $c_p = +0,03\alpha - 1$ ;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale  $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ , e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente)  $c_p = -0,4$ .

Tab.032 Coefficiente di forma per i diversi elementi di progetto,  $c_p$

Elemento	Sopravento $c_p$	Sottovento $c_p$
Chiusura verticale, $\alpha = 90^\circ$	0,80	-0,40
Chiusura orizzontale, $\alpha = 0^\circ$	-0,40	-0,40
Chiusura inclinata, $\alpha = 35,25^\circ$	0,06	-0,40

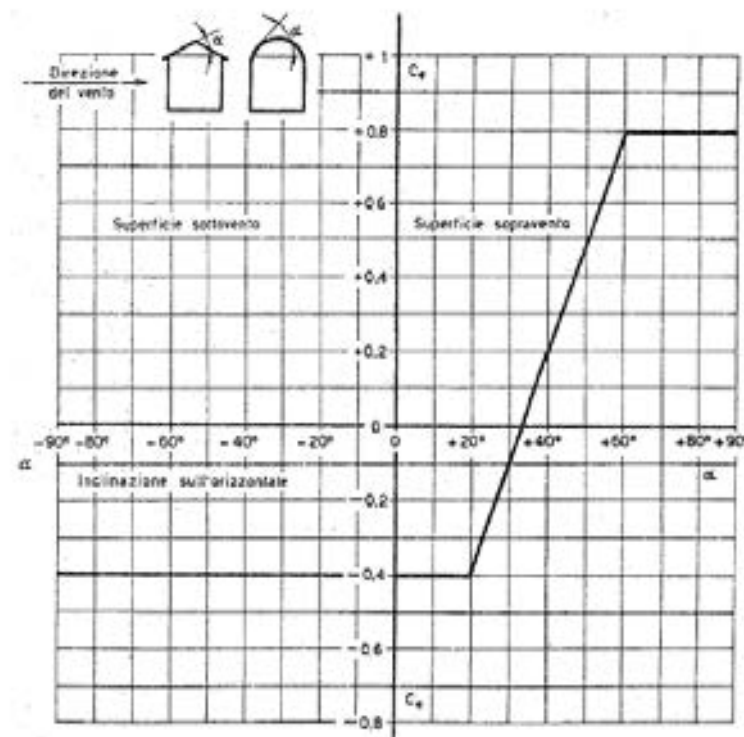


Fig.019 Figura C3.3.2 della Circolare, valori assunti dal coefficiente di forma  $c_p$

Il caso peggiore per le azioni del vento sui solai corrisponde all'azione sulle pareti verticali sopravvento, con un fattore di forma dello 0,8; per le chiusure orizzontali e le falde sottovento si ha un coefficiente di -0,4 che fisicamente porta ad un alleggerimento dei carichi su tali superfici, pertanto non si considera questo tipo di azione favorevole del vento a livello di struttura.

La falda sottovento ha un coefficiente pari a 0,0575, molto basso ma che porta un contributo aggravante sui carichi della copertura, pertanto si considera questo valore in sede di verifiche.

## PRESSIONE DEL VENTO

Infine, la pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b * c_e * c_p * c_d \quad (\text{Formula 3.3.2 della norma})$$

dove

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

$c_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

$c_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

Di seguito si riportano le pressioni orizzontali del vento.

Tab.033 Pressione orizzontale del vento ai piani

Livello dell'edificio	z	p
	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Primo piano sfalsato	1,90	0,46
Primo piano	3,80	0,46
Secondo piano sfalsato	5,60	0,46
Secondo piano	7,50	0,46
Terzo piano sfalsato	9,30	0,46
Terzo piano	11,20	0,46
Quarto piano sfalsato	13,00	0,48
Quarto piano	14,60	0,50
Copertura piana a giardino sfalsata	16,70	0,53
Piano soppalco	17,60	0,55
Baricentro della copertura a falde	20,78	0,04

## COEFFICIENTE DI ATTRITO

Definito nella Circolare al paragrafo C3.3.11: in assenza di più precise valutazioni suffragate da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento, si assumono i valori riportati nella Tabella C3.3.I di suddetta circolare.

Tab.034 Tabella C3.3.I della Circolare n. 617, coefficiente di attrito

Superficie	Coefficiente d'attrito $c_f$
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia..)	0,01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame..)	0,02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata..)	0,04

## AZIONE TANGENZIALE DEL VENTO

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

$$p_f = q_b * c_e * c_f \quad (\text{Formula 3.3.3 della norma})$$

dove

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

$c_f$  è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Di seguito si riportano i valori dell'azione tangenziale del vento in corrispondenza dei piani di progetto, essendo utilizzate finiture esterne lisce in metallo e pannelli di fibrocemento, il valore del coefficiente di attrito utilizzato è pari a 0,01.

Tab.035 Azione tangenziale del vento ai piani

Livello dell'edificio	z	p <sub>f</sub>
	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Primo piano sfalsato	1,90	0,006
Primo piano	3,80	0,006
Secondo piano sfalsato	5,60	0,006
Secondo piano	7,50	0,006
Terzo piano sfalsato	9,30	0,006
Terzo piano	11,20	0,006
Quarto piano sfalsato	13,00	0,006
Quarto piano	14,60	0,006
Copertura piana a giardino sfalsata	16,70	0,007
Piano soppalco	17,60	0,007
Baricentro della copertura a falde	20,78	0,007

#### AZIONE TOTALE DEL VENTO

La forza esercitata dal vento ai livelli dei piani dell'edificio di progetto è la risultante delle pressioni calcolate agenti sulle superfici dell'involucro edilizio:

$$R_v = \sum S_i * p_i$$

dove

S<sub>i</sub> rappresenta le superfici di chiusura dell'edificio;

p<sub>i</sub> è la pressione che il vento esercitata su di esse.

La somma è di tipo vettoriale e si deve pertanto considerare le diverse possibili configurazioni delle azioni del vento al fine di determinare la più sfavorevole.

Il risultato relativo alle massime sollecitazioni da parte del vento corrisponde al valore ottenuto in direzione est-ovest, pari ad una risultante sull'edificio di circa F<sub>v</sub> = 267,67 kN.

L'azione risultante del vento risulta maggiore di entrambe le azioni del sisma calcolate per i rispettivi stati limite di danno e di salvaguardia della vita; pertanto nelle verifiche dei sistemi di controventatura si utilizza l'azione orizzontale del vento.

In particolare si riportano di seguito le forze agenti ai singoli piani dovute all'azione del vento.

Tab.036 Azione tangenziale del vento ai piani

Livello dell'edificio	z	F <sub>i</sub>
	[m]	[kN]
1	3,80	98,43
2	7,50	50,20
3	11,20	48,60
4	14,60	44,69
5	17,60	25,76
<b>Risultante F<sub>v</sub> [kN]</b>		<b>267,67</b>

## 6.4.5 AZIONI DELLA NEVE

### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO DI NEVE AL SUOLO

Nel Paragrafo 3.4.2 delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* si assume che “il carico di neve al suolo dipende dalle condizioni locali del clima e dall'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 nella norma, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare del sito di progetto.

I valori caratteristici minimi del carico della neve al suolo per la Zona I Mediterranea, cui Milano appartiene, sono dati da:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \text{ per } a_s \leq 200 \text{ m (Formula 3.3.9 della norma)}$$

essendo Milano a quota 122 mslm.

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

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 dalla Tab. 3.4.I delle norme tecniche; non essendo diversamente indicato, si assume  $C_e = 1$ .

Tab.037 Coefficiente di forma per i diversi elementi di progetto,  $c_p$

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

### COEFFICIENTE TERMICO

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  $C_t = 1$ .

### COEFFICIENTE DI FORMA DELLE COPERTURE

In generale sono usati i coefficienti di forma per il carico neve in funzione dell'angolo  $\alpha$ , espresso in gradi sessagesimali, formato dalla falda con il piano orizzontale.

I valori del coefficiente di forma  $\mu_1$ , riportati nella Tabella 3.4.II della norma, si riferiscono alle coperture ad una o due falde.

Nel progetto sono presenti coperture piane, per le quali  $\mu_1 = 0,8$ ; oltre a falde con inclinazione  $\alpha = 35,25^\circ$ , per cui  $\mu_1 = 0,8 * (60 - \alpha) / 30$ , ovvero  $\mu_1 = 0,66$ .



## CARICO DI NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture è pertanto valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t \quad (\text{Formula 3.3.7 della norma})$$

dove:

$q_s$  è il carico neve sulla copertura;

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;

$q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>];

$C_E$  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.

In conclusione si ricavano due valori di carico di neve:

- il primo per le coperture piane è pari a circa  $q_s = 1,2 \text{ kN/m}^2$ ;
- il secondo per la copertura a falde, assume il valore di  $q_s = 0,99 \text{ kN/m}^2$ .

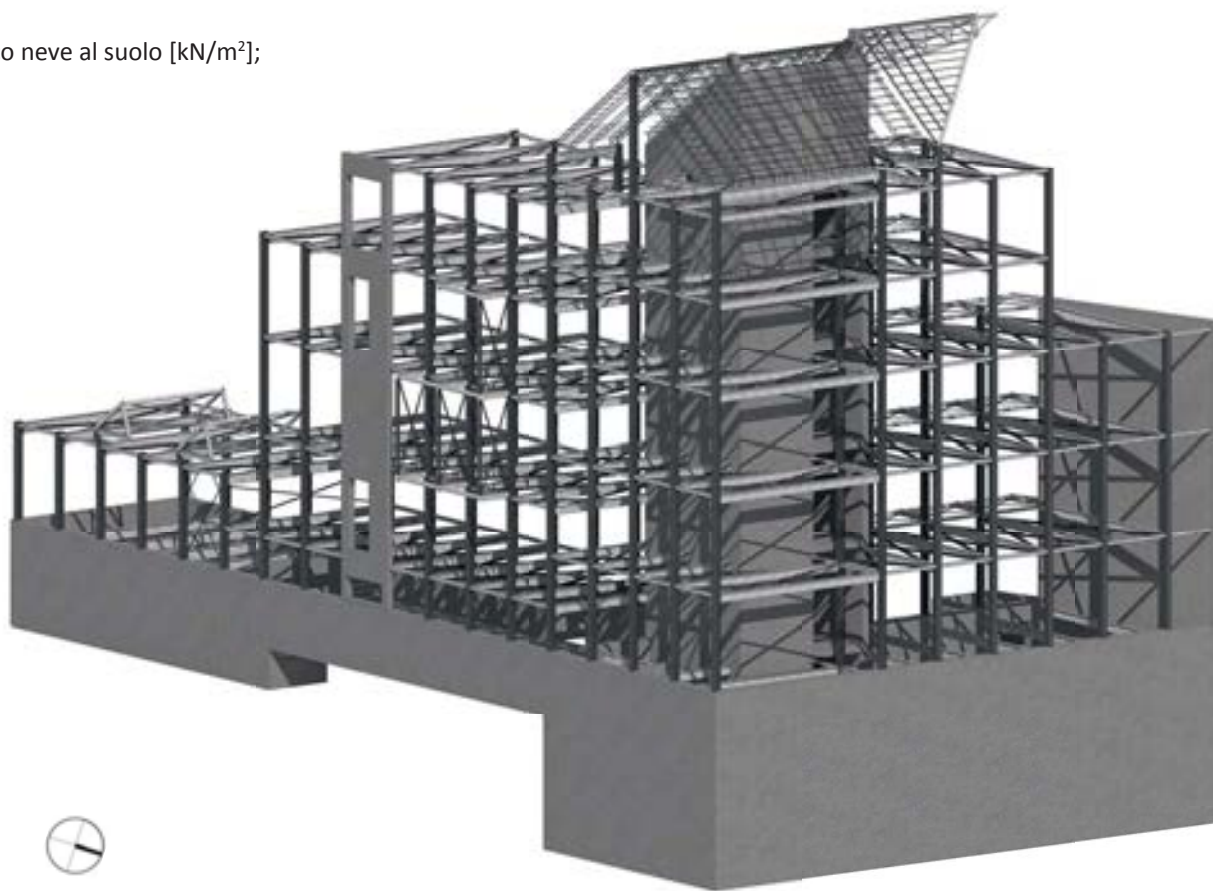


Fig.020 Rappresentazione tridimensionale della struttura del progetto

## 6.5 DIMENSIONAMENTI E VERIFICHE

### 6.5.1 SOLAI INTERPIANO

Come struttura portante dei solai, nell'ambito di una progettazione stratificata a secco, si utilizzano lamiere grecate non collaboranti.

In particolare si distinguono, per il solaio interpiano, due casi in funzione della tipologia di partizioni verticali interne, in base a quanto esposto nel capitolo 5.

#### PARTIZIONI INTERNE LEGGERE

I carichi agenti per unità di superficie, secondo quanto riportato in precedenza, sono i seguenti:

Tab.038 Azioni verticali agenti sui solai

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carico equivalente per le partizioni verticali	$g_{2,1}$	1,20
Peso della partizione orizzontale	$g_{2,2}$	1,41
Carico variabile	$q_{k,1}$	2,00

Utilizzando tali carichi si calcola la combinazione delle azioni per la verifica agli stati limite ultimi: se la lamiera grecata supera questa verifica è implicitamente superata anche quella agli stati limite di esercizio, in quanto questi ultimi prevedono livelli di sollecitazione inferiori.

Tab.039 Azioni verticali ai fini della verifica SLU

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	$G_1$	0,17
Carichi non strutturali	$G_2$	2,61
Carichi variabili	$Q_{k,1}$	2,00

Dove il peso strutturale è fornito dal sagomario della lamiera scelta.

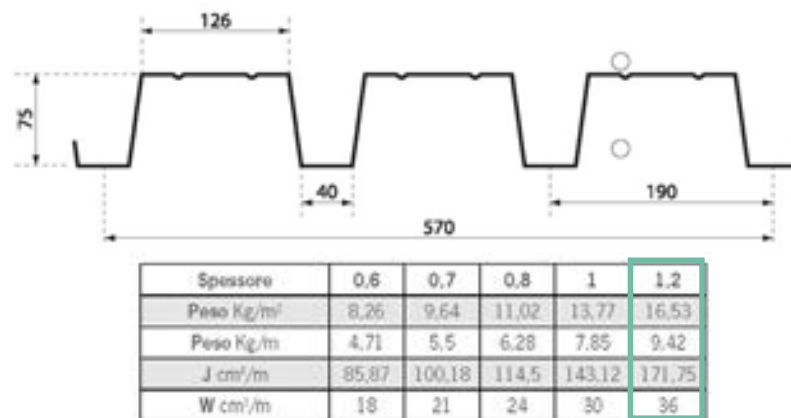


Fig.021 Caratteristiche fisiche e geometriche della lamiera grecata in esame

Si ricordano i coefficienti forniti dal DM del 14 gennaio 2008 ai fini del calcolo della combinazione fondamentale delle azioni agli stati limite ultimi SLU.

Tab.040 Coefficienti parziali per le verifiche SLU

$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_{Q1}$
1,3	1,5	1,5

La combinazione agli SLU per il solaio interpiano viene calcolata utilizzando la combinazione caratteristica fondamentale in cui l'azione antropica è l'unica azione variabile:

$$F_{dperm,1} = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{Q1} * Q_{k1}$$

da cui si ricava che  $F_{d,SLU,eg} = F_{dperm,1} = 7,13 \text{ kN/m}^2$ , valore utilizzato per la verifica, mediante scheda tecnica fornita dal produttore della lamiera scelta, della capacità portante della lamiera stessa.

Nella pagina seguente si evidenzia il carico massimo portato dalla lamiera scelta.

		DISTANZA FRA GLI APPOGGI IN METRI																
		1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,5	6
Spessore (mm)		Carico agente di esercizio alle uniformemente distribuito kN/m <sup>2</sup> (per trasformare (kN/m <sup>2</sup> ) in kg/m <sup>2</sup> si deve moltiplicare per 102)																
0,6		7,04	5,17	3,96	3,13	2,54	2,1	1,76	1,5	1,29	1,13	0,99	0,88	0,78	0,7	0,63	0,52	0,44
0,7		8,77	6,45	4,94	3,9	3,16	2,61	2,19	1,87	1,61	1,4	1,23	1,09	0,97	0,88	0,79	0,65	0,55
0,8		10,57	7,77	5,95	4,7	3,81	3,14	2,64	2,25	1,94	1,69	1,48	1,32	1,17	1,05	0,95	0,79	0,66
1		14,25	10,47	8,01	6,33	5,13	4,24	3,56	3,03	2,62	2,28	2	1,77	1,58	1,42	1,28	1,06	0,89
1,2		17,87	13,13	10,05	7,94	6,41	5,32	4,47	3,81	3,28	2,86	2,51	2,23	1,99	1,78	1,61	1,33	1,12
Freccia cm.		0,25	0,34	0,45	0,57	0,7	0,85	1,01	1,19	1,37	1,58	1,8	2,03	2,25	2,38	2,5	2,75	3
▲▲▲▲																		
0,6		8,8	6,47	4,95	3,91	3,17	2,62	2,2	1,88	1,62	1,41	1,24	1,1	0,98	0,88	0,79	0,65	0,55
0,7		10,97	8,06	6,17	4,87	3,95	3,26	2,74	2,34	2,01	1,75	1,54	1,37	1,22	1,09	0,99	0,82	0,69
0,8		13,21	9,71	7,43	5,87	4,76	3,93	3,3	2,81	2,43	2,11	1,86	1,65	1,47	1,32	1,19	0,96	0,83
1		17,82	13,08	10,02	7,91	6,41	5,3	4,45	3,79	3,27	2,85	2,5	2,22	1,98	1,78	1,6	1,32	1,11
1,2		22,34	16,41	12,57	9,93	8,04	6,65	5,59	4,76	4,1	3,57	3,14	2,78	2,48	2,23	2,01	1,66	1,4
Freccia cm.		0,16	0,22	0,29	0,37	0,46	0,55	0,66	0,77	0,89	1,03	1,17	1,32	1,48	1,65	1,82	2,01	2,23

Fig.022 Valori massimi di portata della lamiera grecata in esame

I valori riportati nella tabella precedente garantiscono una freccia di inflessione massima nei limiti imposti dalle NTC2008 ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio SLE: la lamiera scelta è in grado di portare il carico derivato dalla combinazione fondamentale, che risulta superiore a quello della combinazione caratteristica delle verifiche SLE.

Pertanto la lamiera grecata con altezza 75 mm e spessore 1,2 mm risulta adatta come elemento portante per i solai interpiano.

In base ai calcoli effettuati in questo caso e nel successivo, ai fini delle verifiche seguenti per gli altri elementi strutturali, si utilizza come valore dell'azione di progetto il maggiore tra i due.

## PARTIZIONI INTERNE PESANTI

I carichi agenti per unità di superficie, secondo quanto riportato in precedenza, sono i seguenti:

Tab.041 Azioni verticali agenti sui solai

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carico equivalente per le partizioni verticali	$g_{2,1}$	1,60
Peso della partizione orizzontale	$g_{2,2}$	1,41
Carico variabile	$q_{k,1}$	2,00

Utilizzando tali carichi si calcola la combinazione delle azioni per la verifica agli stati limite ultimi: se la lamiera grecata supera questa verifica è implicitamente superata anche quella agli stati limite di esercizio, in quanto questi ultimi prevedono livelli di sollecitazione inferiori.

Tab.042 Azioni verticali ai fini della verifica SLU

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	$G_1$	0,17
Carichi non strutturali	$G_2$	3,01
Carichi variabili	$Q_{k1}$	2,00

Le caratteristiche della lamiera grecata per questo caso sono le medesime di quella precedente; di conseguenza si passa al calcolo della combinazione fondamentale alla quale corrisponde un'azione di progetto data dal solo contributo accidentale dei carichi antropici:

$$F_{d,SLU,eg} = F_{dperm,1} = 7,73 \text{ kN/m}^2$$

Dalle tabelle riportate in precedenza risulta che la verifica SLU è soddisfatta.

## 6.5.2 SOLAI DI COPERTURA

Nel progetto sono presenti coperture a giardino, caratterizzate da uno strato importante in terreno vegetale, in questa sede si valuta la luce più sollecitata, verificando la possibilità di adottare anche in questo caso un solaio in lamiera grecata non collaborante come elemento strutturale portante.

I carichi agenti per unità di superficie, secondo quanto riportato in precedenza, sono i seguenti:

Tab.043 Azioni verticali agenti sui solai

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso della partizione orizzontale	$g_{2,2}$	4,14
Carico variabile	$q_{k,1}$	4,00
Azione della neve	$q_s$	1,20

Utilizzando tali carichi si calcola la combinazione delle azioni per la verifica agli stati limite ultimi: se la lamiera grecata supera questa verifica è implicitamente superata anche quella agli stati limite di esercizio, in quanto questi ultimi prevedono livelli di sollecitazione inferiori.

Tab.044 Azioni verticali ai fini della verifica SLU

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	$G_1$	0,28
Carichi non strutturali	$G_2$	4,14
Carichi variabili	$Q_{k1}$	4,00
Carichi della neve	$q_s$	1,20

In questo caso sono presenti due tipologie di carichi variabili agenti, pertanto si devono valutare le diverse possibili combinazioni delle azioni, scegliendo per la verifica il caso peggiore.

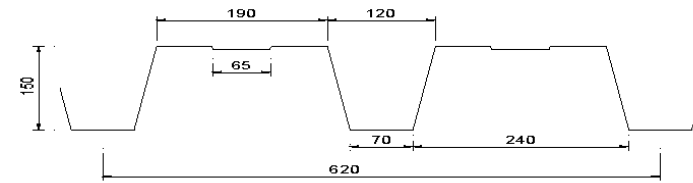


Fig.023 Caratteristiche fisiche e geometriche della lamiera grecata in esame

Si ricordano i coefficienti forniti dal DM del 14 gennaio 2008 ai fini del calcolo della combinazione fondamentale delle azioni agli stati limite ultimi SLU.

Tab.045 Coefficienti parziali per le verifiche SLU

$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_{Q1}$	$\psi_{01}$	$\psi_{0s}$
1,3	1,5	1,5	0,7	0,5

Le combinazioni agli SLU per il solaio interpiano sono calcolate utilizzando la combinazione caratteristica fondamentale in cui l'azione antropica e il carico della neve vengono considerati a turno azioni variabili di base:

$$F_{dperm,1} = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \psi_{0s} * \gamma_{qs} * q_s = 13,47 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{dperm,s} = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{qs} * q_s + \psi_{01} * \gamma_{Q1} * Q_{k1} = 12,57 \text{ kN/m}^2$$

da cui si ricava che l'azione più gravosa è quella corrispondente ai carichi antropici come carichi variabili principali, pertanto  $F_{d,SLU,eg} = F_{dperm,1} = 13,47 \text{ kN/m}^2$ , valore utilizzato per la verifica, mediante scheda tecnica fornita dal produttore della lamiera scelta, della capacità portante della lamiera stessa.

S	larghezza efficace appoggio: 100 mm													
	l = m	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5
0,5	p = daN / m <sup>2</sup>	430	365	320	285	255	230	210	195	180	165	155	145	135
0,6		575	490	430	380	340	310	285	260	240	225	210	195	185
0,7		740	630	560	490	440	400	365	335	310	290	270	255	240
0,8		920	785	685	610	545	485	455	415	385	360	335	315	300
1		1320	1120	985	875	785	715	655	600	560	520	485	455	430
1,2		1780	1525	1330	1180	1060	965	885	815	755	705	660	625	595
1,5		2575	2205	1925	1710	1535	1385	1275	1175	1090	1015	940	875	820

### 6.5.3 TRAVI IN ACCIAIO

Per quanto riguarda i dimensionamenti e le verifiche degli elementi strutturali a trave si riporta la procedura utilizzata nel caso dell'elemento più sollecitato, ovvero la trave portante della copertura a giardino, mentre per le rimanenti sono riportati i riepiloghi delle azioni agenti e dei risultati delle verifiche.

#### TRAVE PRINCIPALE DI COPERTURA

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano le grandezze geometriche di riferimento.

Tab.046 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	2,50
Luce	L [m]	7,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	18,75
Peso proprio	p* [kN/m]	21,05

Dove il peso proprio è definito come  $p^* = i \cdot C.C.R._{SLE}$ , di cui la  $C.C.R._{SLE}$  è data dalla combinazione caratteristica rara, definita dalle NTC2008 come

$$G_1 + G_2 + Q_{k1}$$

con i valori calcolati in precedenza:

Tab.047 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,28
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	4,14
Azione variabile dominante	Q <sub>k1</sub>	4,00

*Predimensionamento:* struttura isostatica reale secondo lo schema in semplice appoggio con calcolo della distribuzione dei momenti; a questa corrisponde una struttura isostatica fittizia, ricavata grazie all'analogia di Mohr, dalla quale in corrispondenza del momento massimo si calcola la freccia della trave reale.

La freccia massima di una trave in semplice appoggio è in mezzzeria e si ricava mediante:

$$f = (5 / 384) \cdot p \cdot L^4 / (E \cdot I)$$

dove

E è il modulo di elasticità lineare, pari a 210.000 N/mm<sup>2</sup>;

I è l'inerzia, incognita, si ricava ponendo f pari a 1/250 della luce L secondo la relazione

$$I = (5 \cdot 250 / 384) \cdot p \cdot L^3 / E$$

che in questo caso restituisce un valore  $I = 13.765 \text{ cm}^4$ .

In seguito alle verifiche svolte è emerso che il profilato di tipo IPE dall'inerzia immediatamente superiore al valore calcolato, il profilo IPE 360, non è sufficiente a soddisfare suddette verifiche; pertanto l'elemento utilizzato nel progetto è il profilo IPE 400, i cui dati sono di seguito riportati.

Tab.048 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
IPE 400	23.130	1.307	0,66

*Freccia massima effettiva:* con le caratteristiche della trave si ricava il peso proprio effettivo  $p = G + p^* = 21,71 \text{ kN/m}$ ; pertanto la freccia massima in mezzzeria è:

$$f = (5 / 384) \cdot p \cdot L^4 / (E \cdot I) = 18 \text{ mm}$$



Verifica di rigidità SLE: la trave è caricata da un solaio; nella progettazione della lamiera grecata sono state considerate strisce di larghezza 1 m, pertanto le reazioni vincolari trovate rappresentano il carico per metro lineare agente sulle travi.

Del solaio è necessario conoscere:

- lo stato limite di esercizio  $F_{d,SLE} = F_{d,SLE-perm} + F_{d,SLE-var} = 21,05 \text{ KN/m}$ , con
 
$$F_{d,SLE-perm} = (G_{1,1} + G_{1,2}) * L_{EG} = 11,05 \text{ KN/m}$$

$$F_{d,SLE-var} = Q_{K1} * L_{EG} = 10,00 \text{ KN/m}$$
- il contributo del peso proprio  $G_{p,p,SLE} = p.p. = G = 0,66 \text{ KN/m}$

L'azione di progetto legata ai carichi permanenti è quindi:

$$F_{d,SLE-perm} = F_{d,SLE-perm} + G_{p,p,SLE} = 11,71 \text{ KN/m}$$

Infine si calcolano gli spostamenti verticali massimi dell'elemento considerato:

Tab.049 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	9,9
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	8,5
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	18,4

Il limite degli spostamenti verticali, fornito dal DM del 14 gennaio 2008 nella tabella 4.2.X, è riportato di seguito e il profilo in esame risulta verificato agli SLE.

Tab.050 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	$L/250 = 30,0$	$L/350 = 21,4$

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 81,42 \text{ kN}$ .

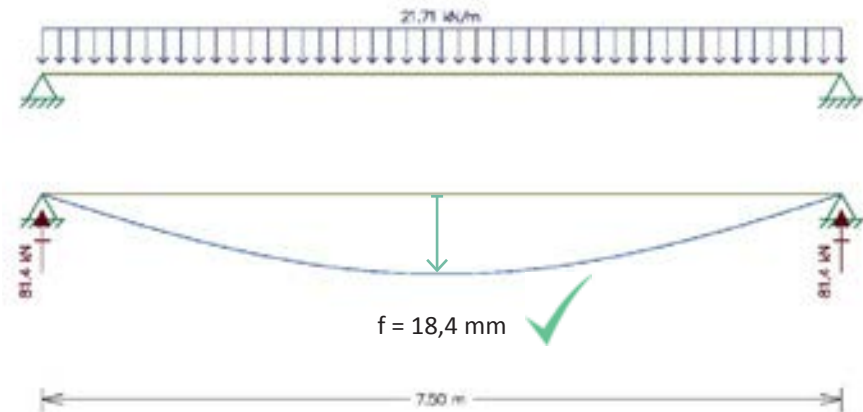


Fig.024 Schemi statici della trave in esame, verifica SLE

Verifica di resistenza SLU: l'azione di progetto del solaio agli stati limite ultimi è stata calcolata in precedenza ed è pari a  $F_{d,SLU-cop} = 13,47 \text{ kN/m}^2$ , alla quale corrisponde un carico distribuito sulla trave:

$$R_{SLU-cop} = F_{d,SLU-cop} * i = 33,68 \text{ kN/m}$$

La trave è un elemento prevalentemente inflesso e, come specificato da Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 e D.M. 14 gennaio 2008, l'elemento deve essere verificato a flessione e a taglio secondo le procedure indicate.

Per effettuare le verifiche è necessario considerare il contributo del peso proprio moltiplicato per il relativo coefficiente parziale  $\gamma_G = 1,3$ .

$$G_{p,p,SLU} = \gamma_G * G = 0,86 \text{ kN/m}$$
 e l'azione di progetto diventa

$$F_{d,SLU} = R_{SLU-cop} + G_{p,p,SLU} = 34,5 \text{ kN/m}$$

Pertanto il taglio e il momento flettente di progetto da utilizzare nelle verifiche, nonché come reazioni vincolari per le verifiche successive a SLU dei pilastri, sono:

$$R_{SLU} = V_{Ed} = (F_{d,SLU} * L) / 2 = 129,51 \text{ kN}$$

$$M_{max} = M_{E,d} = (1/8) * F_{d,SLU} * L^2 = 242,84 \text{ kNm}$$

Di seguito si riportano gli schemi statici riferiti alle azioni calcolate.

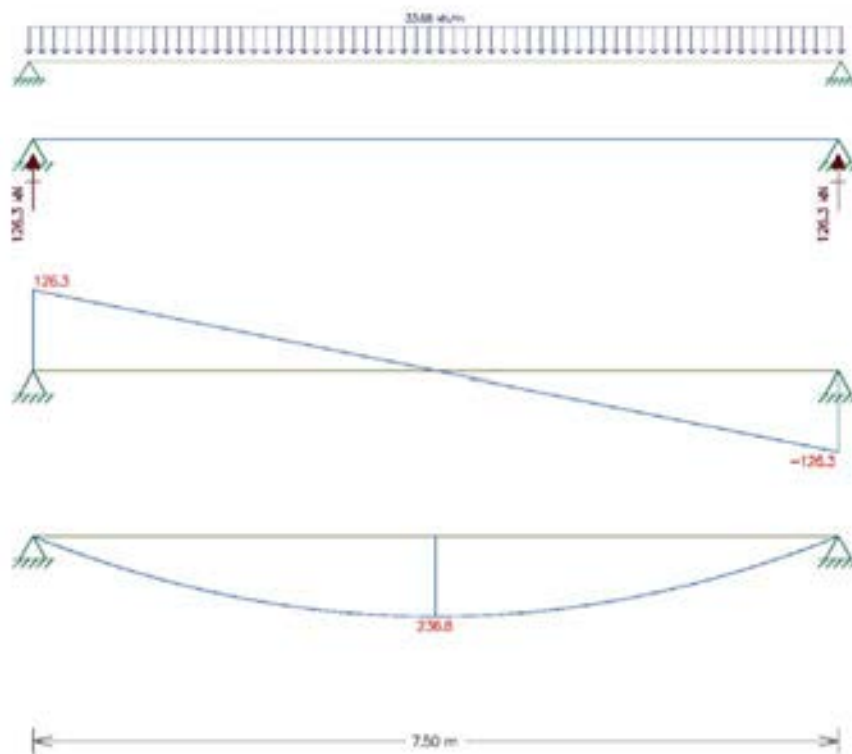


Fig.025 Schemi statici della trave in esame, verifica SLU

- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene effettuata in campo plastico. Si calcola inizialmente l'area di taglio  $A_v$  che, secondo quanto indicato nel paragrafo 4.2.1.2 della normativa è pari a:

$$A_v = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 2902,9 \text{ mm}^2, \text{ essendo per il profilo scelto}$$

A l'area lorda della sezione, pari a 8446 mm<sup>2</sup>;

b la larghezza del profilato, di 180 mm;

$t_f$  lo spessore delle ali, di 13,5 mm;

$t_w$  lo spessore dell'anima, di 8,6 mm;

r il raggio di curvatura del raccordo tra ala e anima, pari a 21 mm.

Una volta definita l'area di taglio, la normativa prevede il calcolo del taglio resistente plastico come:

$$V_{c,Rd} = A_v * f_{yk} / (3^{1/2} * v_{M0}) = 438,95 \text{ kN}$$

La verifica  $V_{Ed} / V_{c,Rd} < 1$  è soddisfatta, in particolare il rapporto è pari a 0,3 che, essendo inferiore a 0,5, permette di trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione, come espresso nelle NTC2008.

- Verifica a flessione monoassiale

Per effettuare la verifica a flessione si calcola il momento resistente dell'elemento strutturale, che per sezioni di classe 1 e 2 vale:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} * f_{yk}) / v_{M0} = 342,31 \text{ kNm}$$

La verifica  $M_{Ed} / M_{c,Rd} < 1$  è soddisfatta, essendo pari a 0,71.

Tab.051 Riepilogo delle verifiche a SLU

$V_{Ed}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	$M_{E,d}$ [kNm]	$M_{c,Rd}$ [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$
129,51	438,95	0,3	242,84	342,31	0,71

- Classificazione della sezione

Nelle verifiche svolte sono state utilizzate le prescrizioni per sezioni di classe 1; definite nella normativa mediante le tabelle 4.2.I e 4.2.II di seguito riportate.

Parti interne compresse

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$E = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Fig.026 Estratto della tabella 4.2.I del DM del 14 gennaio 2008

Piattabande esterne						
Profilati laminati a caldo		Sezioni saldate				
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione	Con estremità in trazione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 23\epsilon\sqrt{k_c}$ Per $k_c$ vedere EN 1993-1-5				
$E = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Fig.027 Estratto della tabella 4.2.II del DM del 14 gennaio 2008

Per il profilo IPE 400 in acciaio con  $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$  si ottiene che:

- per il massimo rapporto larghezza spessore di parti soggette a flessione, ovvero l'anima, si ha  $c/t = 38,49 \leq 72 * \epsilon = 66,24$  il che comporta l'appartenenza dell'anima del profilo alla classe 1;
- per il massimo rapporto larghezza spessore di piattabande esterne soggette a compressione, si ha  $c/t = 4,79 \leq 9 * \epsilon = 8,28$  il che comporta l'appartenenza delle ali del profilo alla classe 1.

Sia l'anima che le ali rientrano in classe 1, pertanto l'intero profilo appartiene alla classe 1; in generale tutti i profili utilizzati nel progetto rientrano in classe 1 e le verifiche agli stati limite sono effettuate di conseguenza.

Di seguito si riportano in forma abbreviata i risultati e il dimensionamento per tutti gli altri elementi trave di progetto.

#### TRAVE A TRALICCIO DI FALDA

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.052 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	0,90
Luce	L [m]	5,00
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	4,50
Peso proprio	p* [kN/m]	2,78

Tab.053 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,00
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	1,89
Azione variabile dominante	Q <sub>ks</sub>	1,20

Tab.054 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
TR 16/14 - 200	597,81	57,04	0,07

Tab.055 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	11,8
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	7,0
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	18,8

Tab.056 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 20,0	L/350 = 14,3

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 7,24$  kN.

Tab.057 Riepilogo delle verifiche a SLU

V <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>c,Rd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> / V <sub>c,Rd</sub>	M <sub>Ed</sub> [kNm]	M <sub>c,Rd</sub> [kNm]	M <sub>Ed</sub> / M <sub>c,Rd</sub>
10,65	107,36	0,1	13,31	14,94	0,89

#### TRAVE PRINCIPALE DI INTERPIANO

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.058 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	2,50
Luce	L [m]	7,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	18,75
Peso proprio	p* [kN/m]	12,94

Tab.059 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,17
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	3,01
Azione variabile dominante	Q <sub>k1</sub>	2,00

Tab.060 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
IPE 330	11.770	804,3	0,49

Tab.061 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	14,0
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	8,3
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	22,4

Tab.062 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 30,0	L/350 = 21,4

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 50,36$  kN.

Tab.063 Riepilogo delle verifiche a SLU

V <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>c,Rd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> / V <sub>c,Rd</sub>	M <sub>Ed</sub> [kNm]	M <sub>c,Rd</sub> [kNm]	M <sub>Ed</sub> / M <sub>c,Rd</sub>
74,86	314,63	0,24	140,37	210,65	0,67

## TRAVE SECONDARIA DI INTERPIANO

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.064 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	2,50
Luce	L [m]	2,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	6,25
Peso proprio	p* [kN/m]	12,94

Tab.065 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,17
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	3,01
Azione variabile dominante	Q <sub>k1</sub>	2,00

Tab.066 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
IPE 140	541,2	88,34	0,13

Tab.067 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	3,6
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	2,2
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	5,9



Tab.068 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 10,0	L/350 = 7,1

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 16,33$  kN.

Tab.069 Riepilogo delle verifiche a SLU

$V_{Ed}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	$M_{E,d}$ [kNm]	$M_{c,Rd}$ [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$
24,37	76,60	0,32	15,23	23,14	0,66

#### TRAVE SECONDARIA PASSAGGIO IMPIANTI

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.070 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	1,25
Luce	L [m]	2,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	3,13
Peso proprio	p* [kN/m]	6,47

Tab.071 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,17
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	3,01
Azione variabile dominante	Q <sub>k,1</sub>	2,00

Tab.072 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
UPN 140	605	86,4	0,16

Tab.073 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	1,7
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	1,0
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	2,7

Tab.074 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 10,0	L/350 = 7,1

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 8,29$  kN.

Tab.075 Riepilogo delle verifiche a SLU

$V_{Ed}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	$M_{E,d}$ [kNm]	$M_{c,Rd}$ [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$
12,34	152,72	0,08	7,71	22,63	0,34

## TRAVE PRINCIPALE DI BORDO

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.076 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	2,50
Luce	L [m]	7,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	9,38
Peso proprio	p* [kN/m]	10,26

Tab.077 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,17
Carichi non strutturali	G <sub>2,1</sub>	3,01
Carichi di parete [kN/m]	G <sub>2,2</sub>	3,79
Azione variabile dominante	Q <sub>k1</sub>	2,00

Tab.078 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
IPE 330	11.770	804,3	0,49

Tab.079 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	13,8
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	4,2
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	18,0

Tab.080 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 30,0	L/350 = 21,4

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 40,31$  kN.

Tab.081 Riepilogo delle verifiche a SLU

V <sub>Ed</sub> [kN]	V <sub>c,Rd</sub> [kN]	V <sub>Ed</sub> / V <sub>c,Rd</sub>	M <sub>Ed</sub> [kNm]	M <sub>c,Rd</sub> [kNm]	M <sub>Ed</sub> / M <sub>c,Rd</sub>
59,95	314,63	0,19	112,40	210,65	0,53

## TRAVE SECONDARIA DI BORDO

Lo schema statico di progetto è quello di trave in semplice appoggio, di cui si riportano i dati di progetto e i risultati delle verifiche.

Tab.082 Geometria della trave

Descrizione	Denominazione	Valore
Interasse	i [m]	7,50
Luce	L [m]	2,50
Area di pertinenza	A [m <sup>2</sup> ]	0,00
Peso proprio	p* [kN/m]	0,00

Tab.083 Carichi di progetto

Descrizione	Denominazione NTC2008	Valore
		[kN/m]
Carichi strutturali	G <sub>1,1</sub>	0,00
Carichi non strutturali	G <sub>2</sub>	3,79
Azione variabile dominante	Q <sub>k1</sub>	0,00

Tab.084 Dati del profilo da sagomario

Profilo	I	Wpl	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
IPE 120	317,8	86,4	0,10

Tab.085 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili

Descrizione	Formula	Valore
		[mm]
Spostamento dovuto a carichi permanenti	$\delta_1 = (5/384) * F_{d,per} * L^4 / (E * I)$	3,0
Spostamento dovuto a carichi variabili	$\delta_2 = (5/384) * F_{d,var} * L^4 / (E * I)$	0,0
Spostamento totale	$\delta_{TOT} = \delta_1 + \delta_2$	3,0

Tab.086 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa

Elementi strutturali	Limiti per gli spostamenti verticali	
	$\delta_{max}$ [mm]	$\delta_2$ [mm]
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura	L/250 = 10,0	-

Infine si ricava la reazione vincolare agli appoggi, usata in seguito nelle verifiche dei pilastri, pari a  $R_{SLE-tot} = 4,87$  kN.

Tab.087 Riepilogo delle verifiche a SLU

$V_{Ed}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	$M_{E,d}$ [kNm]	$M_{c,Rd}$ [kNm]	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$
7,44	60,28	0,12	4,65	15,91	0,29

## 6.5.4 PILASTRI IN ACCIAIO

Per quanto riguarda i dimensionamenti e le verifiche degli elementi strutturali a pilastro si riporta la procedura utilizzata nel caso dell'elemento più sollecitato, ovvero il pilastro centrato in corrispondenza del tetto giardino e degli aggetti ai piani secondo e terzo, mentre è riportato il riepilogo delle azioni e delle verifiche per il pilastro d'angolo sotto la copertura a falde.

### PILASTRO CENTRATO

Lo schema statico è quello di pilastro caricato lungo l'asse da forze verticali derivanti dalle reazioni vincolari agli appoggi delle travi che insistono sul pilastro stesso; di seguito si riporta il riepilogo dei carichi agenti.

Tab.088 Riepilogo dei carichi

Categoria	Descrizione	Denominazione	Valore
Geometria	Altezza interpiano	$h_0$ [m]	3,7
	Interasse	$i$ [m]	7,50
	Luce	$L$ [m]	2,50
	Area di pertinenza	$A$ [m <sup>2</sup> ]	9,38
Carichi permanenti	Chiusura orizzontale	$G_{COP}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	4,41
	Partizione orizzontale	$G_{INT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,57
	T.P.c. (IPE 400)	$G_{TPc}$ [kN/m]	0,66
	T.P.i. (IPE 330)	$G_{TPi}$ [kN/m]	0,49
	T.B. (IPE 120)	$G_{TB}$ [kN/m]	0,10
	Carico totale copertura	$G_s$ [kN]	44,09
	Carico totale interpiano	$G_i$ [kN]	16,82
Carichi variabili	Carichi antropici copertura	$Q_{k1c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00
	Carichi antropici interpiano	$Q_{k1i}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00
	Carichi da neve	$Q_{ks}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,20

Si ricordano i coefficienti forniti dal DM del 14 gennaio 2008 ai fini del calcolo delle combinazioni delle azioni agli stati limite.

Tab.089 Coefficienti parziali

$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\gamma_{Q1}$	$\psi_{01}$	$\psi_{0s}$
1,3	1,5	1,5	0,7	0,5

Dimensionamento e verifica del tronco al 4° piano:

l'azione di progetto per il pilastro considerato è calcolata utilizzando la combinazione fondamentale.

Essa viene calcolata prendendo a turno ciascuna delle azioni variabili come principale.

- Carichi antropici come azione principale

$$F_{d,5-1} = \gamma_G * G_5 + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \psi_{0s} * \gamma_{Qs} * Q_{ks} = 122,00 \text{ kN}$$

- Carichi di neve come azione principale

$$F_{d,5-5} = \gamma_G * G_5 + \gamma_{Qs} * Q_{ks} + \psi_{01} * \gamma_{Q1} * Q_{k1} = 113,57 \text{ kN}$$

Si sceglie la combinazione più gravosa tra quelle calcolate in precedenza: carichi antropici; tale valore viene assunto come azione di progetto per il pilastro  $N_{Ed,5} = F_{d,5} = 122,00 \text{ kN}$ .

Predimensionamento per compressione semplice: per effettuare il predimensionamento si ipotizza che lo sforzo normale critico  $N_{cr}$  sia pari a quello di progetto  $N_{Ed}$ ; dall'inversione dell'equazione del carico critico si ricava l'area minima per la sezione.

$$N_{Ed} = N_{c,Rd} = A * f_{yk} / \gamma_{M0} \text{ ovvero}$$

$$A_{MIN} = N_{c,Rd} * \gamma_{M0} / f_{yk} = 4,66 \text{ cm}^2.$$

Tra i profili HEA quello che garantisce l'inerzia minima trovata è l'HEA100; tuttavia la trave principale scelta è IPE400, con base pari a 180 mm, e quella di bordo è una IPE120, con base pari a 64 mm: per effettuare il giunto trave pilastro senza bisogno di particolari saldature o lavorazioni occorre almeno un pilastro di tipo HEA180, pertanto è utilizzato quest'ultimo profilo in sede di verifica.

Tab.090 Dati del profilo da sagomario

Profilo	$I_y$	$I_z$	A	G
[-]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[kN/m]
HEA 180	2.510	924,6	45,25	0,36

Verifica dell'instabilità a compressione: il profilo scelto deve essere verificato per instabilità a compressione, pertanto si determina il carico critico elastico per la sezione lorda.

$$N_{cr} = \pi^2 * E * I_z / h_0^2 = 1.398,39 \text{ kN}$$

Di conseguenza il rapporto  $N_{Ed} / N_{cr} = 0,09 > 0,04$  condizione che impone la verifica di instabilità; altrimenti l'elemento strutturale sarebbe stato verificato a compressione semplice.

Per trovare l'azione assiale resistente  $N_{b,Rd}$  con cui confrontare l'azione di progetto è necessario determinare dei coefficienti moltiplicativi che tengono conto di come varia la curva di instabilità al variare del tipo di acciaio e di sezione.

Si ricorda quanto visto in precedenza per le travi che anche questo profilo rientra nella classe 1 dato che:

- per il massimo rapporto larghezza spessore di parti soggette a compressione, ovvero l'anima, si ha  $c/t = 20,33 \leq 33 * \epsilon = 30,36$  il che comporta l'appartenenza dell'anima del profilo alla classe 1;
- per il massimo rapporto larghezza spessore di piattabande esterne soggette a compressione, si ha  $c/t = 7,58 \leq 9 * \epsilon = 8,28$  il che comporta l'appartenenza anche delle ali del profilo alla classe 1.

Calcolo della snellezza adimensionale:

$\lambda^* = (A \cdot f_{yk} / N_{cr})^{1/2} = 0,94 > 0,2$  pertanto si procede con la verifica di instabilità a compressione.

Stima del coefficiente  $\alpha$ : dal prospetto 4.2.VI delle NTC 2008, si determina il coefficiente  $\alpha$ , legato al tipo di materiale, al rapporto adimensionale  $h/b$  tra l'altezza e la base della sezione e allo spessore dell'ala.

Per un profilo HEA 180 in acciaio S275 si hanno i seguenti risultati:

- $h/b = 0,95 < 1,2$ ;
- $t_f = 9,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ .

La curva di instabilità da considerare è quella di tipo c alla quale corrisponde un valore di  $\alpha = 0,49$ .

Calcolo del parametro  $\phi$ :

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda^* - 0,2) + \lambda^{*2}] = 1,13$$

Calcolo del fattore di riduzione della resistenza assiale  $\chi$ :

$$\chi = 1 / [\phi + (\phi^2 - \lambda^{*2})^{1/2}] = 0,57$$

Infine, si calcola l'azione assiale resistente:

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_{yk}) / \gamma_{M1} = 679,62 \text{ kN}$$

Pertanto la verifica della resistenza a compressione per il tronco di pilastro al 4° piano, con un profilo HEA 180, risulta soddisfatta in quanto  $N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,18 < 1$ .

*Dimensionamento e verifica del tronco ai piani inferiori:*

le verifiche del pilastro ai piani inferiori rispecchiano la stessa procedura utilizzata per il pilastro al 4° piano, con la particolarità che i carichi aumentano progressivamente scendendo di livello, dato che il pilastro del livello inferiore deve reggere i carichi di tutta la struttura superiore.

Si riporta una tabella riassuntiva dei carichi e delle conseguenti verifiche effettuate.

Tab.091 Riepilogo delle verifiche degli elementi pilastro ai piani

Piano i	$N_{Ed,i}$ [kN]	$N_{cr}$ [kN]	$N_{Ed} / N_{cr}$ [-]	$\lambda^*$ [-]	$\chi$ [-]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$ [-]
3	233,99	1398,39	0,17	0,94	0,57	679,62	0,35
2	358,03	1398,39	0,26	0,94	0,57	679,62	0,53
1	472,60	1398,39	0,34	0,94	0,57	679,62	0,70
0	565,46	5303,04 (*)	0,11	0,48	0,85	1009,33	0,56

(\*) Per questo livello il pilastro è caratterizzato da una lunghezza  $h_0$  pari a 1,9 metri, in quanto il piano è seminterrato e presenta un setto in calcestruzzo armato per la prima parte dell'altezza di interpiano.

Dalle verifiche svolte si evince che il profilo HEA 180 individuato soddisfa pienamente i requisiti di stabilità della struttura per tutti i livelli ed è pertanto il profilo utilizzato.

Di seguito è effettuato il controllo sul pilastro in corrispondenza della copertura a falde, che si sviluppa per un'altezza totale maggiore; in realtà come si può vedere i carichi sono significativamente minori, pertanto il profilo HEA 180 rimane verificato.



## PILASTRO PORTANTE DELLA COPERTURA A FALDE

Lo schema statico è quello di pilastro caricato lungo l'asse da forze verticali derivanti dalle reazioni vincolari agli appoggi delle travi che insistono sul pilastro stesso; di seguito si riporta il riepilogo dei carichi agenti e le relative verifiche.

Tab.092 Riepilogo dei carichi

Categoria	Descrizione	Denominazione	Valore
Geometria	Altezza interpiano	$h_0$ [m]	3,7
	Interasse	$i$ [m]	7,50
	Luce	$L$ [m]	2,50
	Area di pertinenza	$A$ [m <sup>2</sup> ]	4,69
Carichi permanenti	Chiusura orizzontale	$G_{COP}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,04
	Partizione orizzontale	$G_{INT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,57
	T.P.c. (IPE 400)	$G_{TPc}$ [kN/m]	0,66
	T.P.i. (IPE 330)	$G_{TPi}$ [kN/m]	0,49
	T.B. (IPE 120)	$G_{TB}$ [kN/m]	0,10
	Carico totale copertura	$G_5$ [kN]	12,18
	Carico totale interpiano	$G_i$ [kN]	9,33
Carichi variabili	Carichi antropici copertura	$Q_{k1c}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50
	Carichi antropici interpiano	$Q_{k1i}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00
	Carichi da neve	$Q_{ks}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,20

Tab.093 Riepilogo delle verifiche degli elementi pilastro ai piani

Piano i	$N_{Ed,i}$	$N_{cr}$	$N_{Ed} / N_{cr}$	$\lambda^*$	$\chi$	$N_{b,Rd}$	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$
	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[-]
4	76,81	1656,00	0,05	0,87	0,62	735,17	0,11
3	130,07	1398,39	0,09	0,94	0,57	679,62	0,19
2	183,32	1398,39	0,13	0,94	0,57	679,62	0,27
1	236,58	1398,39	0,17	0,94	0,57	679,62	0,35
0	289,84	1398,39	0,21	0,94	0,57	679,62	0,43

## 6.5.5 UNIONI BULLONATE

Per quanto riguarda le unioni travi pilastro si considera il caso della trave di copertura, caratterizzata dalla reazione vincolare maggiore; l'unione bullonata che soddisfa le verifiche in questo caso risulta quindi valida anche per tutte le altre unioni.

Si considerano unioni "precaricate" di conseguenza sono stati scelti bulloni di classe 8,8 come indicato nel paragrafo 4.2.8.1.1 del DM del 14 gennaio 2008; le tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  dei bulloni appartenenti alla classe indicata sono riportate nella seguente tabella:

Tab.094 Caratteristiche dei bulloni come da Tabella 11.3.XII.b delle NTC2008

Classe	$f_{yb}$	$f_{tb}$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
8.8	649	800

In particolare il coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni, definito nella Tabella 4.2.XII della norma corrisponde a  $\gamma_{M2} = 1,25$ ; si ricorda inoltre la reazione vincolare della trave di copertura all'appoggio  $R_{SLU} = 129,52$  kN.

Sono utilizzati nell'unione  $n_b = 3$  bulloni di tipo M12, le cui caratteristiche principali sono:

Tab.095 Caratteristiche fisiche dei bulloni M12

Classe	Codice	Diametro d	$A_{RES}$	$N_{RES}$	$V_{RES}$
		[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]
8.8	M12	12	84,3	30,21	44,75

Di conseguenza l'azione verticale in corrispondenza della piastra è pari a

$$F_{V,Ed} = R_{SLU} / 2 = 64,76 \text{ kN}$$

essendo ripartita simmetricamente su due piastre.

Il che corrisponde a un momento equivalente sui singoli bulloni estremi

$$S = F_{V,Ed} * e_2 / (2 * p_1) = 14,17 \text{ kN}$$

dove

$e_2$  è l'eccentricità ipotizzata di 35 mm, ponendo la forza agente lungo il bordo della piastra di connessione;

$p_1$  è il passo dei bulloni ipotizzato 80 mm, in direzione parallela al carico verticale; il tutto calcolato in condizione di assialsimmetria dei carichi, dove le dimensioni della piastra rispetto alla posizione dei bulloni sono espresse in conformità alla seguente figura tratta dalla normativa.

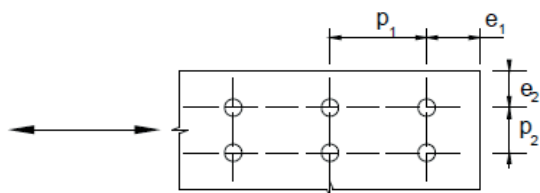


Fig.028 Estratto della Figura 4.2.3 delle NTC2008

Si calcola la reale forza verticale dovuta a taglio sul singolo bullone secondo la configurazione scelta:

$$V = F_{V,Ed} / n_b = 21,59 \text{ kN}$$

Il taglio risultante sul singolo bullone è quindi:

$$F_{V,Ed-b} = (S^2 + V^2)^{1/2} = 25,82 \text{ kN}$$

Di seguito si riportano le dimensioni della piastra secondo le ipotesi fatte.

Tab.096 Caratteristiche geometriche della piastra di collegamento

$e_1$ [mm]	$e_2$ [mm]	$p_1$ [mm]	$p_2$ [mm]	$t$ [mm]
35	35	80	-	10

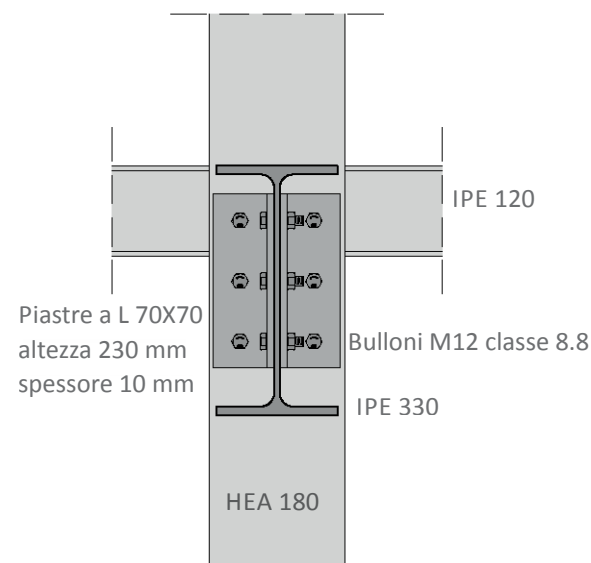


Fig.029 Giunto trave pilastro con la disposizione dei bulloni ipotizzata, sezione verticale

Posto  $d_0$  il diametro del foro, uguale a quello del bullone maggiorato al massimo di 1mm, per bulloni sino a 20mm di diametro: in questo caso  $d_0 = 13 \text{ mm}$ .

Da questo si calcolano le dimensioni minime e massime delle squadrette, come prescritto nella Tabella 4.2.XIII nel caso di unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali; le ipotesi fatte in precedenza rispettano tali indicazioni.

Tab.097 Caratteristiche geometriche della piastra di collegamento

	Dimensioni minime [mm]	Dimensioni massime [mm]
$e_1 = 1,2 * d_0$	15,6	-
$e_2 = 1,2 * d_0$	15,6	-
$p_1 = 2,2 * d_0$	28,6	min (14t; 200mm) 140
$p_2 = 2,4 * d_0$	31,2	min (14t; 200mm) 140

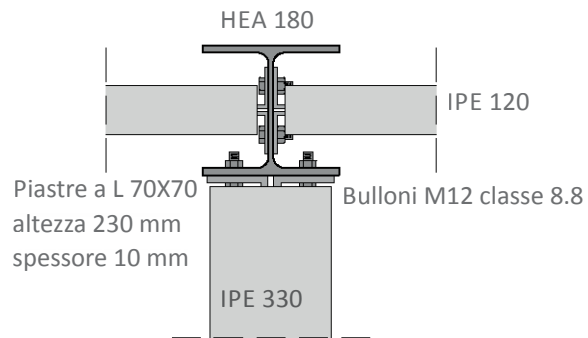


Fig.030 Giunto trave pilastro con la disposizione dei bulloni ipotizzata, sezione orizzontale

**Verifica al taglio, lato bulloni:**

la resistenza di calcolo a taglio dei bulloni è definita al paragrafo 4.2.8.1 della norma come:

$$F_{V,Rd} = 0,6 * f_{tb} * A_{RES} / \gamma_{M2} = 32,4 \text{ kN}$$

Pertanto il rapporto  $F_{V,Ed-b} / F_{V,Rd} = 0,8 < 1$  e la verifica risulta soddisfatta.

**Verifica a rifollamento della piastra:**

la resistenza di calcolo a rifollamento della piastra nel piano di taglio è:

$$F_{b,Rd} = k * \alpha * f_{tk} * d * t / \gamma_{M2} = 92,6 \text{ kN}$$

dove

k è il coefficiente correttivo che dipende dalla posizione del bullone

$$k = \min \{ 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7; 2,5 \} = 2,5$$

$\alpha$  è il coefficiente correttivo dipendente dalla posizione del bullone,  $d_0$  e dal rapporto  $f_{tb} / f_{tk}$

$$\alpha = \min \{ e_1 / (3 * d_0); f_{tb} / f_{tk}; 1 \} = 0,9$$

$f_{tk}$  è la resistenza a rottura del materiale della piastra collegata, reperibile nella tabella 11.3.IX delle NTC2008 e, per acciai S 275 con spessori  $t \leq 40$  mm, si ha che  $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$

d è il diametro nominale del gambo del bullone

e t è lo spessore della piastra collegata, questi ultimi definiti in precedenza.

In conclusione  $F_{V,Ed} / F_{b,Rd} = 0,7 < 1$  ed anche la verifica a rifollamento risulta soddisfatta.

Di seguito si riportano una pianta e una sezione strutturali, nelle quali si può osservare la configurazione generale degli elementi strutturali dimensionati in precedenza.

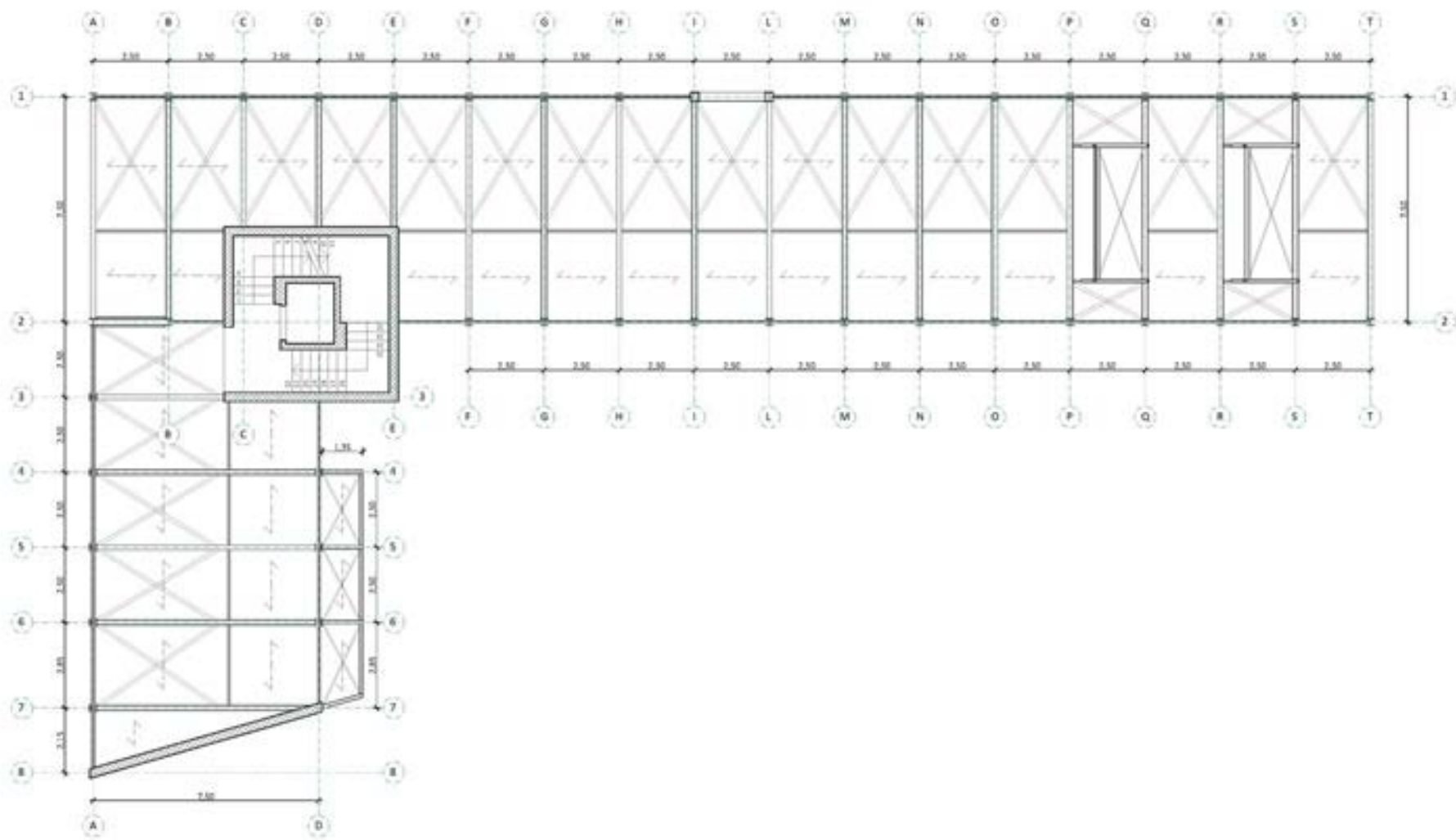
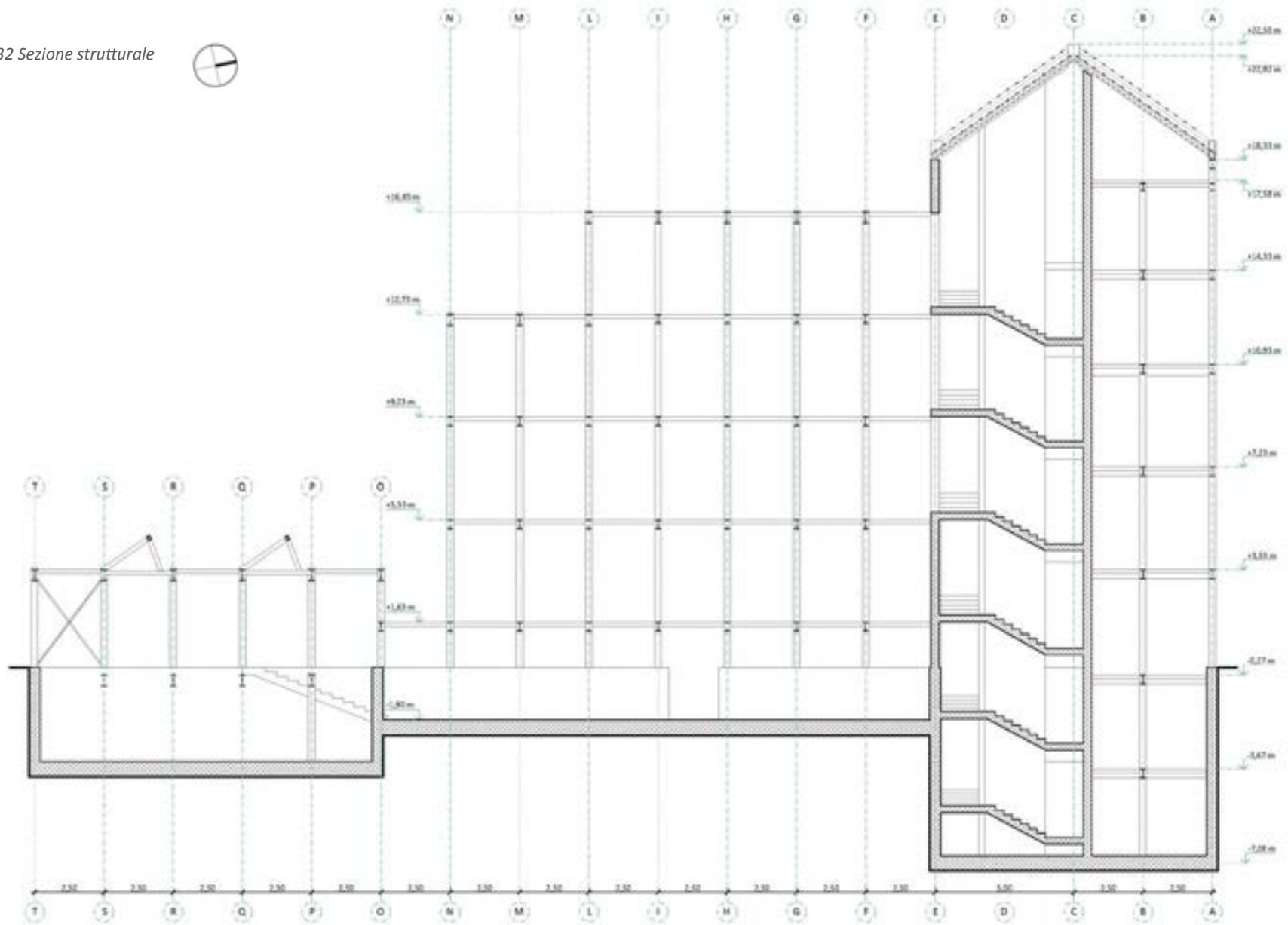


Fig.031 Pianta tipo della struttura



Fig.032 Sezione strutturale





### 6.5.6 TRAVE RETICOLARE

La trave reticolare è utilizzata per realizzare l'aggetto della copertura a falde, essa regge una parte di copertura continua e un sistema di lamelle frangisole verso la punta: per semplicità si considera un carico distribuito su tutta la superficie di progetto pari a quelle della copertura continua, questo approccio risulta semplificato per i calcoli e a favore di sicurezza.

L'entità dei carichi accidentali, come calcolato in precedenza, consiste in:

- carico da neve  $Q_{ks} = 0,99 \text{ kN/m}^2$ ;
- carico di vento  $Q_{kv} = 0,04 \text{ kN/m}^2$ , considerato quello relativo alle pressioni concordi con i carichi verticali, in quanto l'azione discorde comporterebbe un alleggerimento della struttura che non corrisponde al carico massimo subito dalla stessa;
- carichi antropici  $Q_{k1} = 0,50 \text{ kN/m}^2$ , dato che la copertura è accessibile per sola manutenzione.

Inoltre il carico non strutturale dell'elemento di tamponamento corrisponde al carico della chiusura C.O.02, alleggerita degli strati isolanti e di finitura interna, non necessari per una partizione esterna: pertanto  $G_2 = 1,00 \text{ kN/m}^2$ .

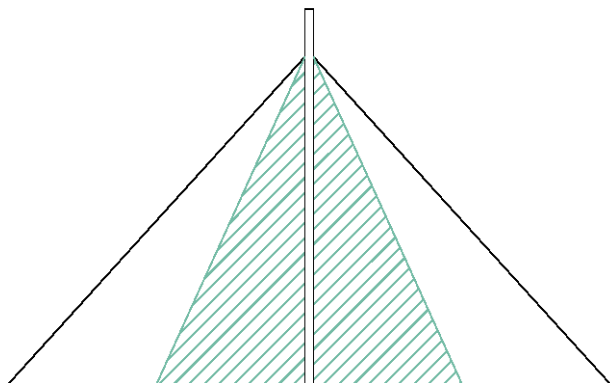


Fig.033 Area di influenza della trave reticolare

Nella definizione della struttura della trave reticolare sono stati usati dei profili circolari cavi D139,7 per i correnti e D88,9 per le diagonali ed i montanti; i dati significativi di tali elementi sono riportati di seguito.

Tab.098 Dati del profilo da sagomario

Profilo	t	A	I	Wpl	G
	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
D139,7	10	40,7	862	169	0,32

Tab.099 Dati del profilo da sagomario

Profilo	t	A	I	Wpl	G
	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
D88,9	6,3	16,3	140	43,1	0,13

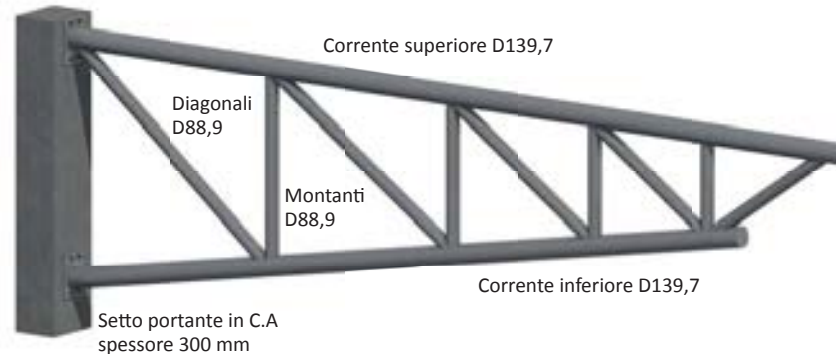


Fig.034 Rappresentazione della trave reticolare di progetto

Utilizzando tali carichi sono state calcolate le combinazioni fondamentali e caratteristica rara per le verifiche SLU e SLE, i cui grafici di distribuzione sono riportati di seguito.

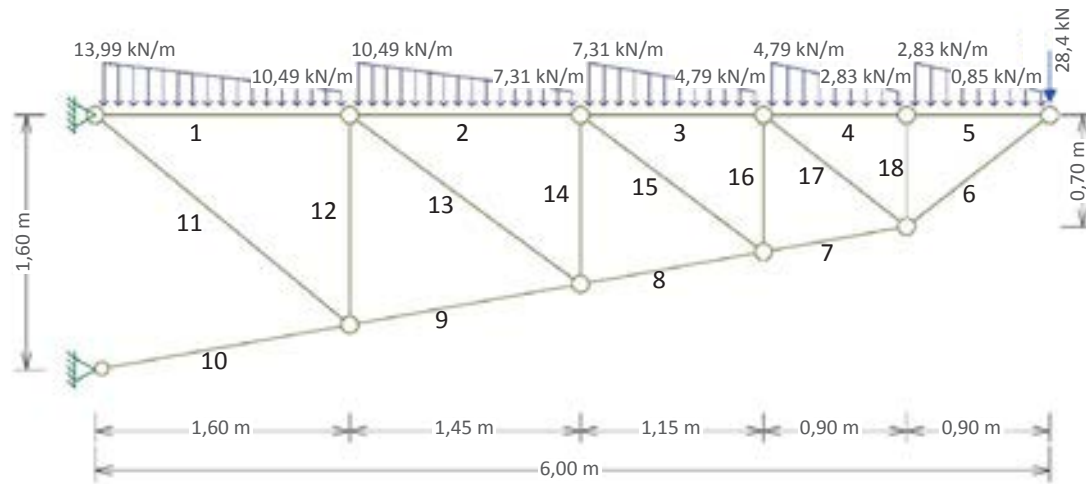


Fig.035 Distribuzione dei carichi per la verifica a SLE

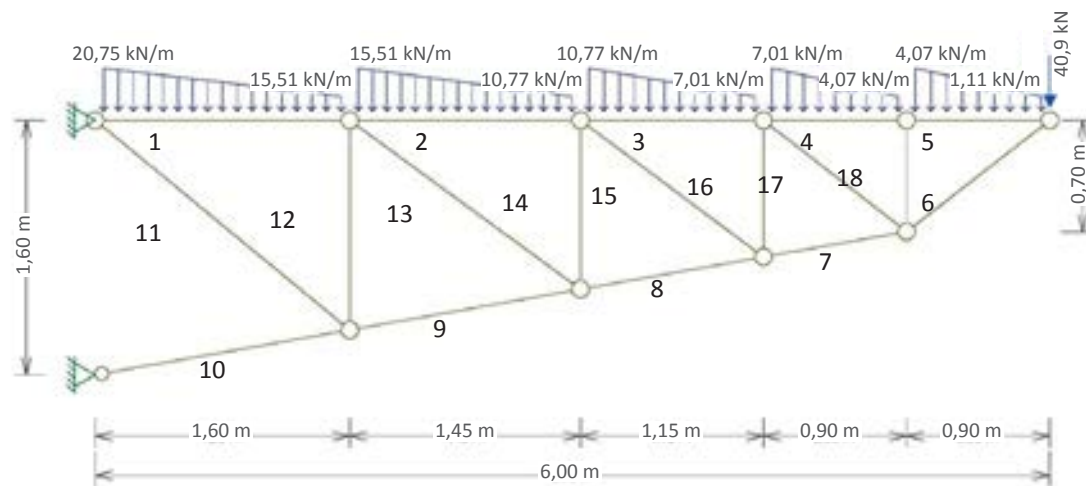


Fig.036 Distribuzione dei carichi per la verifica a SLU

In conclusione si riporta un riepilogo delle azioni interne calcolate con la verifica degli elementi più sollecitati; le supposizioni fatte in precedenza soddisfano i requisiti strutturali richiesti.

Si sarebbe potuto scegliere profili più piccoli, visto l'elevato margine di sicurezza riscontrato nelle verifiche, tuttavia essendo la trave reticolare un elemento strutturale a vista hanno prevalso logiche di percezione visiva di sicurezza e stabilità della struttura stessa.

Tab.100 Riepilogo delle verifiche sugli elementi più sollecitati

Elemento	Tipo di verifica	Valore	Limite
5	SLE: freccia	5 mm	< 24 mm (*)
1	SLU: trazione	180,1 kN	< 1066,0 kN
1	SLU: flessione	5,8 kNm	< 44,3 kNm
1	SLU: taglio	15,2 kN	< 156,9 kN
10	SLU: compressione	243,3 kN (**)	< 1066,0 kN
11	SLU: trazione	77,1 kN	< 426,9 kN
12	SLU: compressione	59,5 kN (**)	< 426,9 kN

(\*) Si considera 1/250 della luce come valore limite in quanto la trave reticolare è un elemento a vista che caratterizza l'aspetto dell'edificio.

(\*\*) Si riscontra che il valore dell'azione di progetto  $N_{Ed} < 0,04 N_{cr}$  e pertanto non è necessaria la verifica di instabilità a compressione.

### 6.5.7 ELEMENTO A SBALZO DELLE SCHERMATURE

Analogamente al caso della trave reticolare si riportano le caratteristiche dei profili scelti per la struttura e, in seguito, gli schemi statici con le azioni risultanti agenti sugli elementi considerati.

Tab.101 Dati del profilo da sagomario

Profilo	t	A	I	Wpl	G
	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
Q150	10	54,9	1.770	286	0,43

Tab.102 Dati del profilo da sagomario

Profilo	t	A	I	Wpl	G
	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kN/m]
R150x100	10	44,9	1.275	216	0,35

Le cui verifiche svolte sono:

Tab.103 Riepilogo delle verifiche effettuate

Elemento	Tipo di verifica	Valore	Limite
1	SLE: freccia	0,5 mm	4 mm (*)
2	SLE: freccia	1,3 mm	15 mm (*)
1	SLU: compressione	5,2 kN (**)	1437,9 kN
3	SLU: flessione	8,7 kNm	74,9 kNm
3	SLU: taglio	8,9 kN	415,1 kN
2	SLU: compressione	8,4 kN (**)	1176,0 kN
2	SLU: flessione	3,7 kNm	56,6 kNm
2	SLU: taglio	5,2 kN	407,4 kN

(\*) Si considera 1/250 della luce come valore limite in quanto la schermatura è un elemento a vista che caratterizza l'aspetto dell'edificio.

(\*\*) Si riscontra che il valore dell'azione di progetto  $N_{Ed} < 0,04 N_{cr}$  e pertanto non è necessaria la verifica di instabilità a compressione.

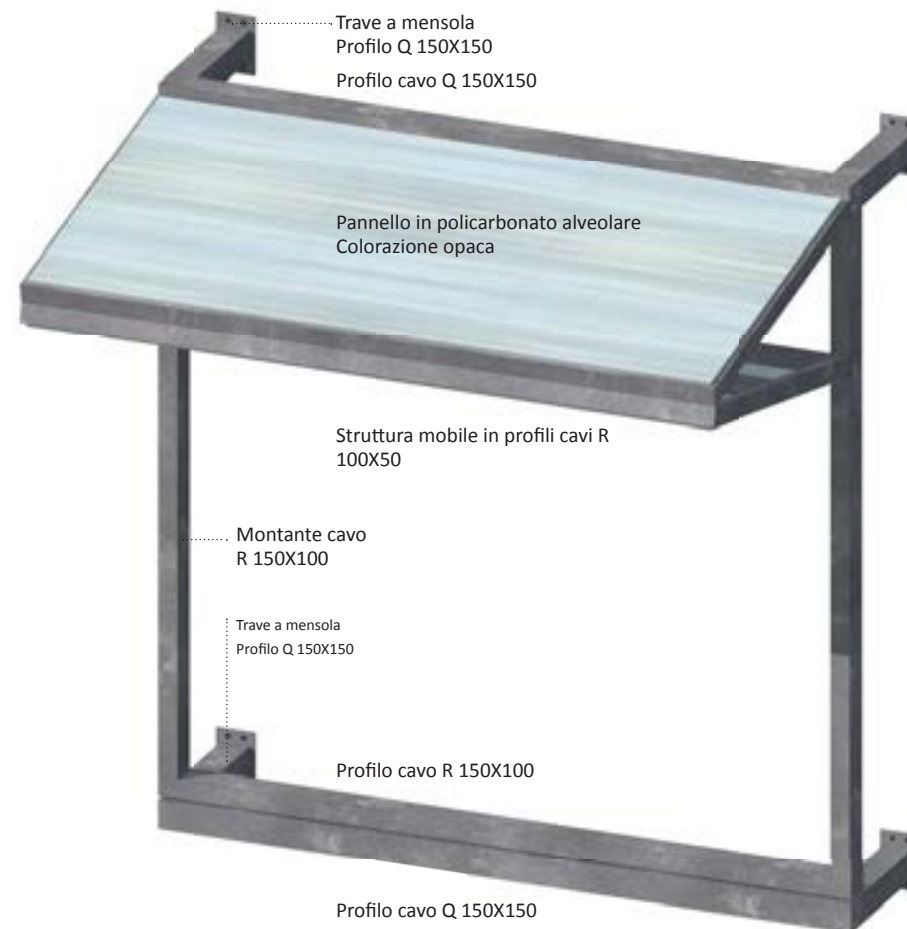


Fig.037 Rappresentazione della struttura delle schermature solari esterne

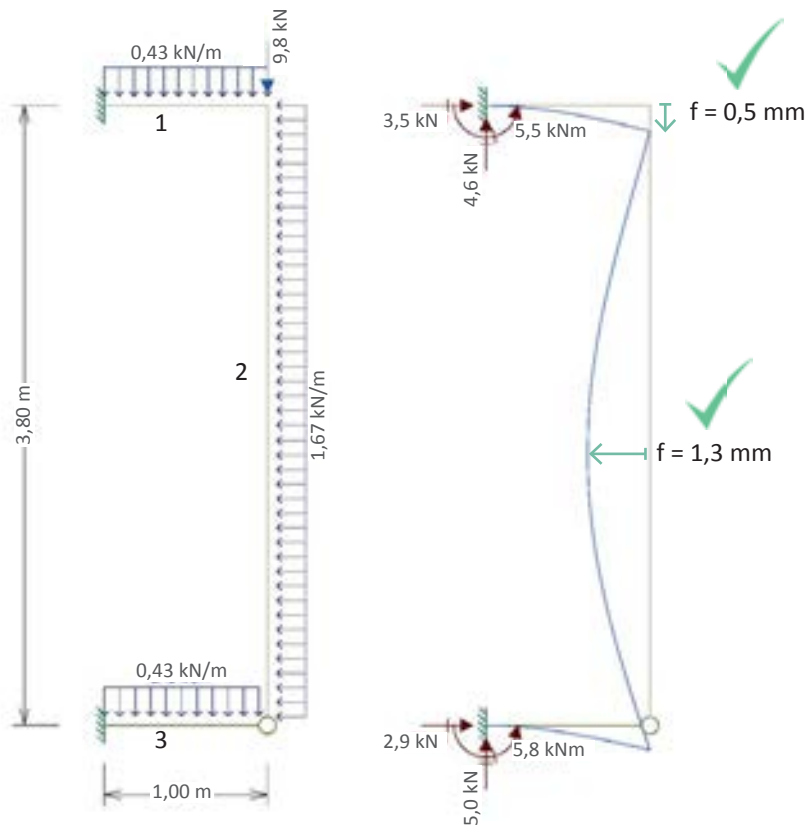


Fig.038 Carichi e verifica a SLE

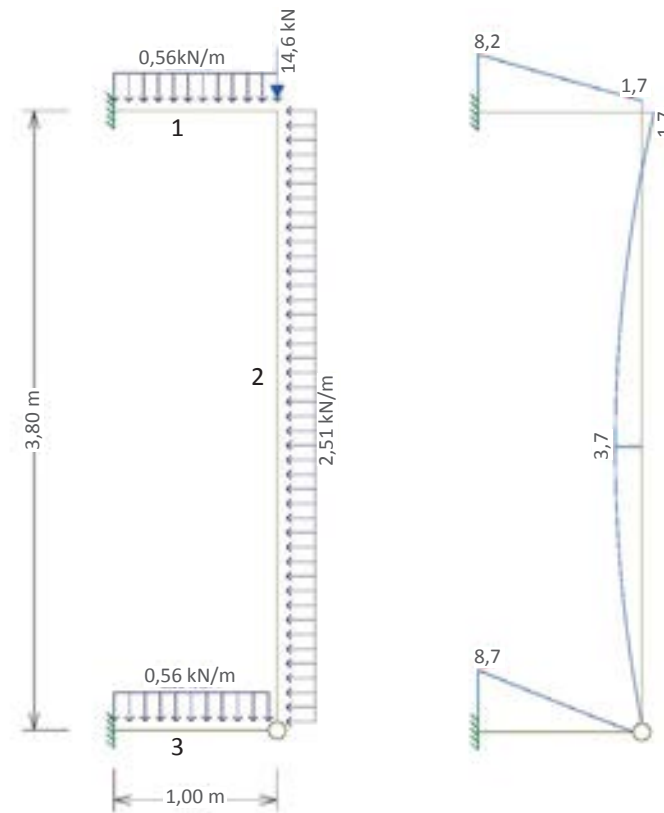


Fig.039 Carichi e momenti risultanti a SLU

### 6.5.8 AZIONI SUI CONTROVENTI

Si conclude il capitolo con la verifica degli spostamenti orizzontali dell'edificio sotto l'azione orizzontale dominante: l'azione del vento.

Come elementi controventati del fabbricato sono presenti:

il nucleo nel corpo scale, i cui elementi resistenti principali sono dati da due setti a L disposti con simmetria centrale;

un setto diagonale posto in corrispondenza del confine ovest del lotto su via Palermo e gisce sui primi tre livelli fuori terra del progetto, in quanto gli ultimi due livelli presentano una riduzione in pianta su questo lato che passa a due sole campate strutturali connesse al blocco scale e che non richiedono particolari elementi controventanti aggiuntivi;

un setto in corrispondenza del corpo allungato dell'edificio verso sud che prosegue per tutti e cinque il livelli fuori terra, necessario soprattutto a contrastare le oscillazioni della copertura a giardino dell'ultimo piano.

Ipotizzando un solaio infinitamente rigido, ottenuto grazie ai tiranti orizzontali presenti in tutte le campate strutturali, è possibile assumere come centro di massa per le forze orizzontali il baricentro geometrico dell'edificio.

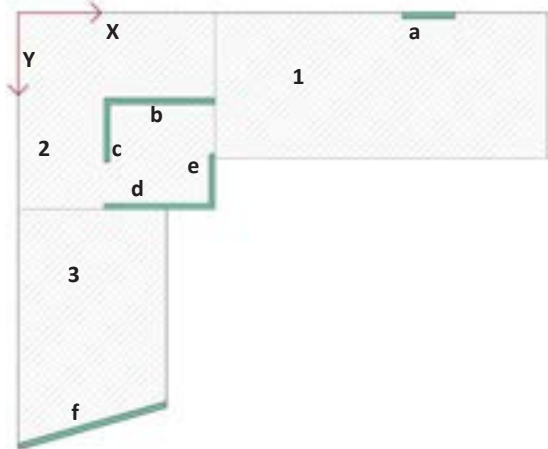


Fig.040 Geometria dei livelli 1, 2 e 3 per il calcolo dei centri di massa

Il baricentro complessivo del fabbricato si calcola a partire dai baricentri geometrici delle tre forme elementari in cui è scomposta la configurazione in pianta del progetto, i calcoli sono ripetuti nei due casi distinti in funzione dello sviluppo orizzontale dell'edificio ai diversi livelli.

Il baricentro è poi calcolato secondo le formule:

$$x_G = \frac{\sum_i S_{y_i}}{\sum_j A_j} = \frac{\sum_i (x_i * A_i)}{\sum_j A_j}$$

$$y_G = \frac{\sum_i S_{x_i}}{\sum_j A_j} = \frac{\sum_i (y_i * A_i)}{\sum_j A_j}$$

dove

$x_i$  e  $y_i$  sono le coordinate dei baricentri delle forme elementari che compongono la pianta dell'edificio;

$S_{y_i}$  e  $S_{x_i}$  sono i momenti statici rispetto agli assi y e x;

$A_i$  è l'area della formabase considerata.

Di seguito si riportano i riepiloghi dei calcoli della posizione del baricentro per i due casi considerati.

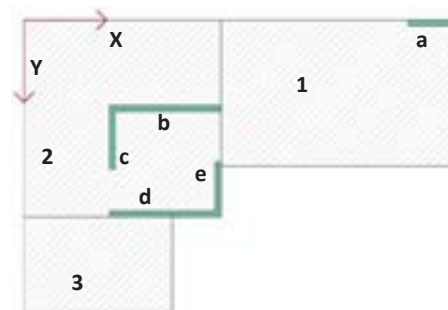


Fig.041 Geometria dei livelli 4 e 5 per il calcolo dei centri di massa



Tab.104 Calcolo del baricentro per i livelli 1, 2 e 3

Grandezza	Unità di misura	Forma 1	Forma 2	Forma3
$b_1$	m	17,35	10,25	12,55
$b_2$	m	-	-	10,30
h	m	7,65	10,30	7,70
$A_i$	m <sup>2</sup>	132,73	105,58	87,97
$x_i$	m	18,93	5,13	3,72
$y_i$	m	3,83	5,15	16,07
$S_{x_i}$	m <sup>3</sup>	507,68	543,71	1413,53
$S_{y_i}$	m <sup>3</sup>	2511,87	541,07	327,58
$S_{x_{tot}}$	m <sup>3</sup>		2464,93	
$S_{y_{tot}}$	m <sup>3</sup>		3380,52	
$A_{tot}$	m <sup>2</sup>		326,28	
$x_G$	m		10,36	
$y_G$	m		7,55	

In seguito al calcolo del centro delle masse, ovvero il punto di applicazione delle forze orizzontali, si determina il baricentro delle rigidezze dei sistemi di controvento verticali.

Nel caso in cui i due baricentri non coincidano si genera un'eccentricità delle forze, che causano un momento torcente agente sul piano e sui controventi.

Il baricentro delle rigidezze dipende dalle rigidezze e dalle posizioni relative degli elementi controventanti.

Ogni setto di controvento è infatti caratterizzato da una propria rigidezza, costituita dall'inerzia del materiale dei setti, considerati come uniformi.

Pertanto il baricentro delle rigidezze si colloca maggiormente vicino al controvento con rigidezza maggiore.

Tab.105 Calcolo del baricentro per i livelli 4 e 5

Grandezza	Unità di misura	Forma 1	Forma 2	Forma3
b	m	12,50	10,25	4,95
h	m	7,65	10,30	7,70
$A_i$	m <sup>2</sup>	95,63	105,58	38,12
$x_i$	m	16,50	5,13	3,85
$y_i$	m	3,83	5,15	12,78
$S_{x_i}$	m <sup>3</sup>	365,77	543,71	486,92
$S_{y_i}$	m <sup>3</sup>	1577,81	541,07	146,74
$S_{x_{tot}}$	m <sup>3</sup>		1396,40	
$S_{y_{tot}}$	m <sup>3</sup>		2265,63	
$A_{tot}$	m <sup>2</sup>		239,32	
$x_G$	m		9,47	
$y_G$	m		5,83	

Le coordinate del centro delle rigidezze sono date dalle formule:

$$x_R = \frac{\sum_i (x_i * I_{xxi})}{\sum_j I_{xxj}}$$

$$y_R = \frac{\sum_i (y_i * I_{yyi})}{\sum_j I_{yyj}}$$

dove

$x_i$  e  $y_i$  sono le coordinate dei baricentri dei singoli controventi;

$I_{xxi}$  e  $I_{yyi}$  sono i momenti d'inerzia dei controventi rispetto agli assi y e x;

Di seguito si riportano i riepiloghi dei calcoli della posizione del baricentro delle rigidezze per i due casi di distribuzione in pianta di progetto.

Dove le inerzie di rettangoli sono calcolate come  $I_{xxi} = b * h^3 / 12$  e  $I_{yyi} = h * b^3 / 12$ .

Tab.106 Calcolo del baricentro delle rigidezze per i livelli 1, 2 e 3

Grandezza	Unità	a	b	c	d	e	f
b	m	2,75	5,50	0,30	5,50	0,30	8,05
h	m	0,30	0,30	3,05	0,30	2,60	0,30
$I_{xxi}$	m <sup>4</sup>	0,01	0,01	0,71	0,01	0,44	0,02
$I_{yyi}$	m <sup>4</sup>	0,52	4,16	0,01	4,16	0,01	13,04
$x_i$	m	21,38	7,52	4,62	7,22	10,12	3,85
$y_i$	m	0,15	4,63	6,16	10,15	9,00	21,73
$x_i * I_{xxi}$	m <sup>5</sup>	0,13	0,09	3,28	0,09	4,45	0,07
$y_i * I_{yyi}$	m <sup>5</sup>	0,08	19,26	0,04	42,22	0,05	283,39
$\Sigma I_{xxi}$	m <sup>4</sup>			1,20			
$\Sigma I_{yyi}$	m <sup>4</sup>			21,89			
$x_R$	m			6,77			
$y_R$	m			15,76			

Tab.107 Calcolo del baricentro delle rigidezze per i livelli 4 e 5

Grandezza	Unità	a	b	c	d	e
b	m	2,75	5,50	0,30	5,50	0,30
h	m	0,30	0,30	3,05	0,30	2,60
$I_{xxi}$	m <sup>4</sup>	0,01	0,01	0,71	0,01	0,44
$I_{yyi}$	m <sup>4</sup>	0,52	4,16	0,01	4,16	0,01
$x_i$	m	21,38	7,52	4,62	7,22	10,12
$y_i$	m	0,15	4,63	6,16	10,15	9,00
$x_i * I_{xxi}$	m <sup>5</sup>	0,13	0,09	3,28	0,09	4,45
$y_i * I_{yyi}$	m <sup>5</sup>	0,08	19,26	0,04	42,22	0,05
$\Sigma I_{xxi}$	m <sup>4</sup>			1,18		
$\Sigma I_{yyi}$	m <sup>4</sup>			8,85		
$x_R$	m			6,81		
$y_R$	m			6,96		

Date le coordinate del centro di massa del piano e del baricentro delle rigidezze, è possibile determinare le azioni sui singoli elementi di controvento mediante le seguenti relazioni:

$$R_{xi} = F_H * I_{yyi} / \Sigma_i I_{yyi} + F_H * e * \mu_i * I_{yyi} / \Sigma_j (\mu_j^2 * I_{yyj} + \xi_j^2 * I_{xxj})$$

$$R_{yi} = F_H * I_{xxi} / \Sigma_i I_{xxi} + F_H * e * \xi_i * I_{xxi} / \Sigma_j (\mu_j^2 * I_{yyj} + \xi_j^2 * I_{xxj})$$

dove

$F_H$  è la forza esterna orizzontale e corrisponde all'azione del vento dato che è la maggiore tra tutte le sollecitazioni orizzontali, come calcolato in precedenza; e è l'eccentricità tra il punto di applicazione della forza orizzontale e il baricentro delle rigidezze;

$\xi_j$  è la distanza lungo l'asse x tra il baricentro del controvento j-esimo e il baricentro delle rigidezze;

$\mu_j$  è la distanza lungo l'asse y tra il baricentro del controvento j-esimo e il baricentro delle rigidezze;

$I_{xxi}$  e  $I_{yyi}$  sono le inerzie nelle due direzioni dei singoli elementi di controvento.

In particolare il termine  $\Sigma_j (\mu_j^2 * I_{yyj} + \xi_j^2 * I_{xxj})$  rappresenta l'inerzia torsionale di piano.

Dove le inerzie di rettangoli sono calcolate come  $I_{xxi} = b * h^3 / 12$  e  $I_{yyi} = h * b^3 / 12$ .

Di seguito si riporta la tabella con le azioni sui singoli elementi di controvento in risposta all'azione del vento secondo la direzione y che corrisponde alla sollecitazione maggiore, come calcolato in precedenza.

Tab.108 Azioni orizzontali in direzione Est-Ovest sui singoli elementi di controvento

Livello	F <sub>H</sub>	e	R <sub>ya</sub>	R <sub>yb</sub>	R <sub>yc</sub>	R <sub>yd</sub>	R <sub>ye</sub>	R <sub>yf</sub>
	[kN]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
1	98,43	3,59	0,53	1,02	58,72	1,02	36,53	1,50
2	50,20	3,59	0,27	0,52	29,95	0,52	18,63	0,77
3	48,60	3,59	0,26	0,50	28,99	0,50	18,03	0,74
4	44,69	2,65	0,34	0,48	28,74	0,47	18,39	-
5	25,76	2,65	0,20	0,28	16,57	0,27	10,60	-

In conclusione si verifica lo spostamento orizzontale dell'edificio ai piani, che dipende dallo schema statico dei controventi.

Nel caso in esame i controventi di progetto si comportano come una mensola verticale caricata con un carico puntuale ai piani e ortogonale ad essa.

La formula che individua lo spostamento è pertanto:

$$s_i = R_i * h_0^3 / (3 * E * I_{xxi})$$

dove

s<sub>i</sub> è lo spostamento nella direzione del carico orizzontale agente;

R<sub>i</sub> è il carico derivante dalle reazioni vincolari causate dal vento sui singoli controventi;

h<sub>0</sub> è l'altezza di interpiano;

E, pari a 31000 MPa, è il modulo elastico del calcestruzzo di cui i controventi sono costituiti;

I<sub>xxi</sub> è l'inerzia del controvento che subisce lo spostamento.

Di seguito si riporta la tabella con gli spostamenti relativi per singolo livello dell'edificio dei singoli elementi di controvento; lo spostamento massimo si ottiene sommando i valori parziali dei singoli piani.

Tab.109 Spostamenti orizzontali in direzione Est-Ovest dei singoli elementi di controvento

Livello	s <sub>ya</sub>	s <sub>yb</sub>	s <sub>yc</sub>	s <sub>yd</sub>	s <sub>ye</sub>	s <sub>yf</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	0,00005	0,00004	0,00005	0,00004	0,00005	0,00005
2	0,00019	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
3	0,00063	0,00060	0,00060	0,00060	0,00060	0,00060
4	0,00193	0,00135	0,00141	0,00134	0,00146	-
5	0,00217	0,00152	0,00159	0,00151	0,00164	-
s <sub>MAX</sub>	0,00497	0,00370	0,00383	0,00367	0,00394	0,00083

Secondo quanto indicato nel paragrafo 4.2.4.2.2 nelle NTC2008, sono prescritti dei valori massimi di spostamento orizzontale per le strutture in acciaio, in particolare lo spostamento in sommità deve essere inferiore ad 1/500 dell'altezza della costruzione, come riportato nella Tabella 4.2.XI delle medesime norme.

Tale spostamento limite equivale a s<sub>LIM</sub> = 0,035 metri; il caso peggiore che coincide con il controvento "a" che si trova alla distanza massima dal baricentro delle grandezze presenta uno spostamento orizzontale molto minore, risultando pertanto verificato.



# CAPITOLO 7 - ANALISI ERGOTECNICA

## 7.1 L'AREA DI CANTIERE

7.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE - VIABILITÀ

7.1.2 LE PRINCIPALI FASI OPERATIVE

7.1.3 LAYOUT DI CANTIERE



## PREMESSA

In quest'ultimo capitolo si evidenziano le scelte ergotecniche adottate per l'organizzazione dell'area operativa del cantiere.

In prima analisi, si presenta in generale l'area di cantiere in via Palermo, valutando le criticità date dal contesto milanese, con un inquadramento territoriale dal punto di vista viabilistico per l'approvvigionamento al cantiere.

Inoltre si sviluppano le tre fasi principali all'interno del cantiere:

- fase di scavo
- getto di fondazioni
- elevazione struttura metallica

Infine si presenta il layout organizzativo, dimostrandone la fattibilità dello stesso, pur non conoscendone realmente la struttura operativa che lavorerà all'interno del cantiere. Con particolare riferimento:

- delimitazione dell'area
- viabilità
- logistica
- area di stoccaggio
- movimentazione aerea

## 7.1 L'AREA DI CANTIERE

L'area di cantiere in via Palermo 19, come già precisato nei capitoli precedenti, si colloca in un vuoto urbano, situato nel centro storico della città di Milano, caratterizzata nell'intorno da edifici di altezza variabile tra i quattro e sei piani fuori terra, con destinazione d'uso residenziale e commerciale.

Al momento delle scelte progettuali relative ai materiali da utilizzare e al tipo di struttura da realizzare si è tenuto conto dell'effettiva accessibilità al lotto di progetto nei confronti dei mezzi di cantiere adatti ad eseguire le lavorazioni previste e a trasportare i prodotti edili selezionati.

L'accessibilità al cantiere avviene da una carreggiata ampia a senso unico di marcia, che da via Statuto conduce poi a Corso Garibaldi; inoltre l'area di progetto è definita da una traversa di via Palermo a fondo cieco che conduce alla scuola materna.

Dall'analisi effettuata non si sono riscontrati vincoli di accesso all'area per i mezzi di cantiere, anche se il lotto si trova all'interno di una cortina edilizia molto fitta di vie con incroci che non permettono raggi di curvatura molto grandi.

Di conseguenza, si dovrà tenere in considerazione nella gestione del cantiere edile che non sarà possibile servirsi di automezzi di grandi dimensioni e capienza, così come difficilmente si potrà approvvigionare il cantiere di manufatti di grandi dimensioni.

Oltre alla questione dell'approvvigionamento si deve considerare il fatto che il cantiere viene a trovarsi in un'area a forte carattere residenziale, pertanto un aspetto di criticità, riguarda la valutazione delle condizioni del traffico cittadino, particolarmente intenso in alcune ore della giornata a causa della presenza di scuole e uffici nella zona circostante.

L'intenso traffico automobilistico e pedonale dovuti alla viabilità del contesto porteranno altresì ad adottare recinzioni adatte a garantire l'intangibilità del

cantiere da interferenze esterne, ma anche a proteggere e riparare il passaggio di persone all'esterno dai pericoli insiti nell'attività edilizia.

Un altro importante aspetto di criticità, riguarda la presenza della struttura scolastica: essa comporta un attento studio alla base della progettazione, in quanto la tutela dei bambini impone una gestione controllata per l'approvvigionamento del cantiere e la movimentazione dei mezzi nelle ore in cui non si ha il passaggio degli utenti di entrata o uscita dalla scuola, al fine di evitare qualsiasi interferenza.

Dato il contesto, si dovranno rispettare orari e tecniche di lavorazioni che limitino il più possibile le polveri tipiche di un cantiere edile, oltre alla valutazione dell'inquinamento acustico, in quanto dovrà essere eseguito uno studio sul rumore prodotto dal cantiere, tenendo come riferimento il documento della normativa italiana per l'acustica in edilizia: D.P.C.M. del 5 dicembre 1997.



Fig.001 Localizzazione del cantiere in via Palermo

### 7.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE - VIABILITÀ

L'inquadramento territoriale dal punto di vista della viabilità è stato indispensabile data la collocazione del lotto di progetto, nel cuore della città milanese.

Nelle immagini riportate si illustra il percorso di collegamento più veloce per raggiungere il cantiere in relazione all'autostrada A51, tangenziale Est.



MOTRICE DIMENSIONI  
(L X L X H): 8,00 X 2,44 X 2,60  
CAPACITÀ IN Q.LI: 50 - 100

- PERCORSO
  - Autostrada A51 tangenziale Est di Milano tangente alla città e all'area suburbana
  - Arrivo al cantiere attraverso strada urbana 9,5 Km - tempo di percorrenza: 45 minuti
  - Cantiere via Palermo

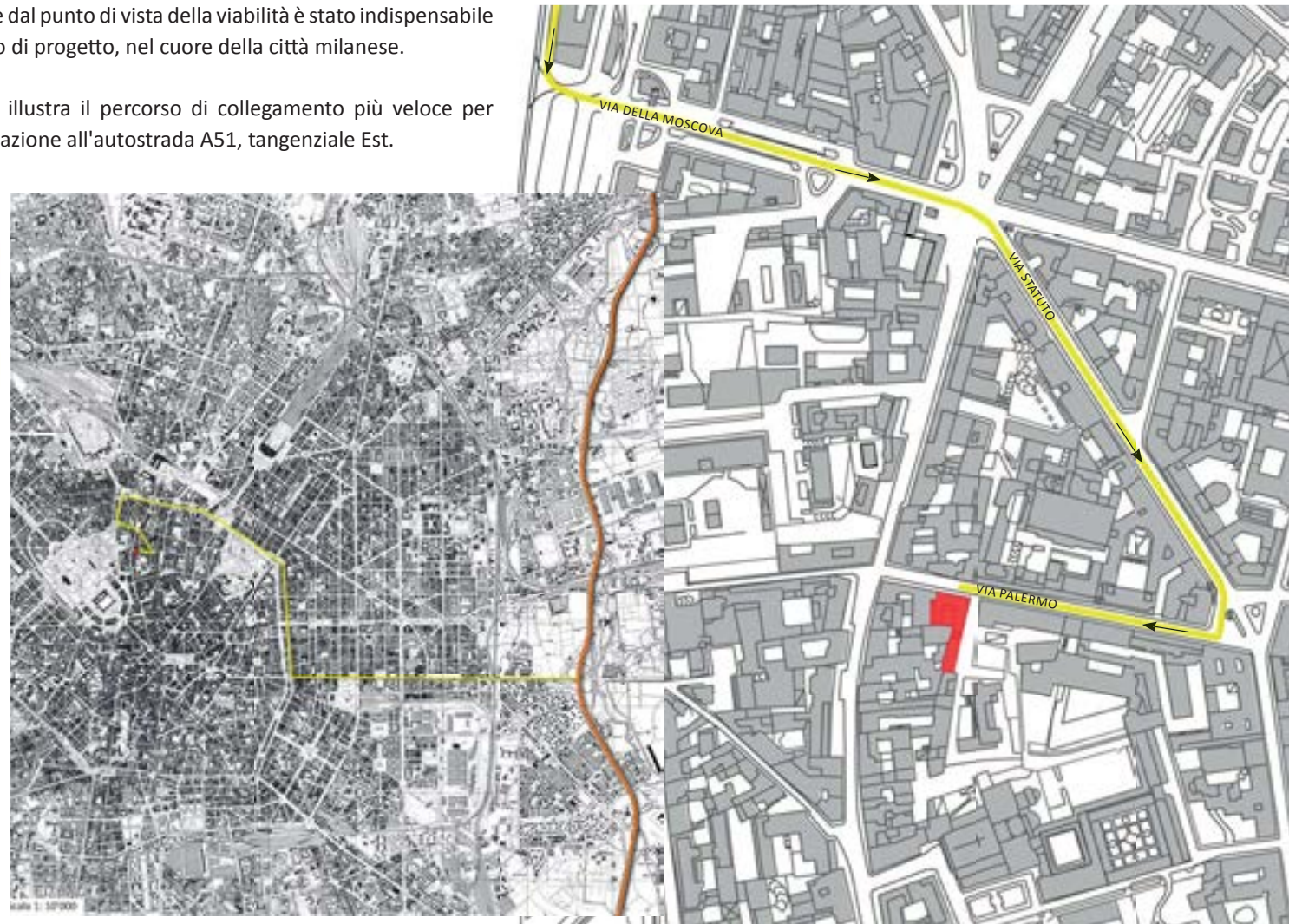


Fig.002 Analisi accessibilità al cantiere da macro-scala a micro-scala



### 7.1.2 LE PRINCIPALI FASI OPERATIVE

Di seguito si sviluppano le principali fasi di cantiere attraverso gli obiettivi, i mezzi d'opera e le fasi operative.

#### – FASE DI SCAVO

Nel cantiere edile le attività di scavo riguardano la prima fase operativa, la quale è contraddistinta da diverse criticità:

- la prima riguarda il livello di falda, in quanto l'area milanese è contraddistinta da una falda acquifera sotterranea che circola a livello superficiale, di conseguenza prima dell'inizio lavori, bisognerà sicuramente provvedere a progettare misure opportune per l'allontanamento dell'acqua;
- la seconda criticità riguarda la vicinanza di edifici limitrofi.

Causa degli spazi sempre più ristretti negli ambienti fortemente antropizzati, come Milano, spesso si presenta la necessità di realizzare scavi verticali per ricavare degli interrati.

Non potendo quindi eseguire delle scarpate naturalmente stabili, risulta necessario intervenire con opere di sostegno provvisorie o permanenti, le quali consentono di operare nel rispetto delle normative in materia di sicurezza.

Per la realizzazione dello scavo vengono utilizzati dei micropali in calcestruzzo, capaci di sostenere verticalmente il terreno e vengono realizzati attraverso la perforazione del terreno stesso tramite sonde.

I micropali sono pali di piccolo diametro che contengono un elemento strutturale per trasferire i carichi e/o limitare le deformazioni e che possono essere realizzati mediante attrezzature di ridotte dimensioni.

In accordo con la Normativa Europea, si considerano micropali i pali aventi un diametro inferiore a 300 mm se trivellati e 150 mm se infissi.

L'applicazione di micropali allineati e disposti a breve distanza tra loro si definiscono berlinesi, tipica soluzione in ambito urbano.



Fig.003 Esempio in cantiere di applicazione di micropali di sostegno

Le berlinesi sono strutture di sostegno di tipo flessibile, realizzate mediante cortine di micropali verticali.

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 idonea 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.

Riguardo alla progettazione del cantiere edile sono state effettuate considerazioni di carattere logistico in relazione alle caratteristiche geometriche del lotto di progetto: per prima cosa il fabbricato si affaccia direttamente su strada e presenta una porzione interrata in corrispondenza del perimetro al confine di tale affaccio; pertanto nella realizzazione degli scavi si dovrà tener conto della necessità di mantenere inalterata l'integrità del fondo stradale adiacente.

Il terreno di risulta degli scavi, può inizialmente essere riportato sulla parte sud del lotto e in seguito riutilizzata per riempire eventuali sbancamenti realizzati verso la corte interna del lotto, oppure come terreno vegetale per la realizzazione dei terrazzi - giardino e delle coperture verdi previste nel progetto.

In seguito a una quantificazione puntuale del terreno di risulta degli scavi, potrebbe comunque rendersi necessario lo smaltimento di una sua parte.

Le operazioni di scavo hanno tutte in comune la caratteristica di essere condotte da macchinari mobili che si possono dislocare autonomamente da un punto all'altro del cantiere e, con alcune limitazioni, sulla rete stradale.



Fig.004 Esempio dei mezzi edili previsti per la fase di scavo

#### – GETTO DELLE FONDAZIONI

La messa in opera di questa fase, consiste in tutte le operazioni che, a partire dalla predisposizione delle casseforme, delle armature, dei distanziali, attraverso lo scarico del calcestruzzo dall'autobetoniera, arrivano alla successiva compattazione del materiale, necessaria per assicurare il completo ed omogeneo riempimento dei casseri.

Le casseforme, costituiscono il contenitore utilizzato durante le operazioni di getto per modellare il calcestruzzo nella forma desiderata.

Si suddividono in casseri a perdere o riutilizzabili, e possono essere costituiti da diversi materiali.

La superficie interna del cassero deve essere pulita e preferibilmente ricoperta di uno strato di disarmante che permetta il facile distacco dal calcestruzzo una volta indurito; i pannelli del cassero devono essere perfettamente sigillati.

Tutte le strutture realizzate in calcestruzzo devono essere progettate da un tecnico abilitato, il quale redige un progetto dal quale si ricava il numero e la dimensione delle barre di armatura da inserire nel conglomerato.

Queste vengono annegate nel calcestruzzo allo scopo di resistere agli sforzi di trazione, non sopportati dal calcestruzzo.

Ciascun elemento deve possedere specifiche caratteristiche di resistenza certificate da appositi laboratori riconosciuti dal Ministero.

In fase di montaggio delle armature e dei casseri vengono predisposti i distanziali, appositi elementi che allontanano le armature dalle pareti delle casseforme tenendole in posizione durante il getto e garantendo la corretta esecuzione del copriferro.

I ferri di armatura devono essere strettamente legati fra di loro per evitare spostamenti durante il getto.



Con questo termine si identificano tutte le manovre necessarie al trasferimento del calcestruzzo dall'autobetoniera alle casseforme. Il conglomerato può essere trasferito nei casseri direttamente mediante scivoli o tubi, oppure con l'ausilio di un'autopompa che permette di superare ostacoli o dislivelli.

Per eseguire un buon getto il riempimento delle casseforme deve avvenire lentamente, evitando così la formazione di bolle o sacche d'aria nel materiale.

La messa in opera del calcestruzzo, tenendo in considerazione il contesto del cantiere, avviene tramite benna movimentata dalla gru posizionata al centro della corte o tramite autopompa.

Si è scelta questa soluzione, in quanto le quantità di calcestruzzo richieste all'interno del cantiere non sono eccessive: devono servire i piani interrati, oltre al blocco scale e ai controventi verticali; il resto dei piani fuori terra sono progettati con una tecnologia stratificata a secco.



Fig.005 Esempio di getto delle fondazioni in cantiere

#### – STRUTTURA METALLICA

La struttura di progetto per i piani fuori terra è in acciaio.

Tutti gli elementi strutturali vengono forniti in cantiere poco alla volta, prima del loro utilizzo, con un sistema coordinato; la movimentazione degli elementi avverrà tramite la gru e un team specializzato seguirà le fasi di assemblaggio della costruzione metallica, assicurando solidità dell'opera e la tempestività di realizzazione.

L'assemblaggio del telaio, richiama il processo costruttivo di un meccano: tutti gli elementi necessari alla costruzione vengono accuratamente progettati tenendo conto dei processi di produzione edilizia e delle successive operazioni di montaggio in cantiere.



Fig.006 Esempio di assemblaggio della struttura metallica in cantiere

### 7.1.3 LAYOUT DI CANTIERE

In questa fase, si è progettata una possibile organizzazione dell'area operativa con le relative aree di supporto: dove vengono dislocati tutti gli apprestamenti, gli impianti, per la realizzazione dell'intervento; dimostrandone la fattibilità pur evidenziandone gli aspetti critici da tenere in considerazione.

L'analisi del layout di cantiere è stata eseguita facendo riferimento alle specifiche tecniche contenute nella normativa in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, in riferimento al D.Lgs. 81/2008.

#### – DELIMITAZIONE DEL CANTIERE

La recinzione di cantiere è il sistema di confinamento dell'area di lavoro, avente lo scopo di regolamentare l'accesso all'area, proteggendo i lavoratori e i terzi dai rischi di interferenza tra attività che avvengono sul luogo all'interno e in prossimità del cantiere.

Per tale motivo, si è scelto una recinzione completamente cieca in pannelli metallici che garantisce maggiore protezione anche a livello acustico; inoltre la protezione essendo collocata in un contesto cittadino, avrà un'altezza minima di 2 metri.



Fig.007 Esempio di recinzione in pannelli metallici

In particolare, in corrispondenza degli accessi è previsto il posizionamento di una segnaletica luminosa che attira in modo rapido le persone e trasmette facilmente un determinato messaggio, volto a garantire la sicurezza attraverso la propria forma geometrica, il colore e l'eventuale simbolo.

Tale segnaletica di sicurezza è stata unificata a livello europeo con la direttiva 92/58/CEE, concernente le prescrizioni minime per la segnalazione di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro, recepita in Italia con il Decreto Legislativo 14 agosto 1996, n. 493.

Inoltre sulla recinzione deve essere apposta la cartellonistica di cantiere con gli estremi della concessione edilizia, nominativi dell'impresa, direttore lavori, progettisti e coordinatore della sicurezza e le relative autorizzazioni.

#### – VIBILITÀ DI CANTIERE

Per viabilità di cantiere si intende il sistema dei percorsi veicolari e pedonali interni al cantiere, per consentire il collegamento in sicurezza alla via adiacente, nonché lo scarico e carico dei materiali da costruzione e dei rifiuti.

L'accesso al cantiere sarà consentito esclusivamente alle persone e agli automezzi autorizzati i quali saranno parcheggiati in appositi spazi solo per il tempo necessario ai lavori.

Gli ingressi saranno distinti in due: uno per i mezzi edili e uno pedonale.

Il percorso carrabile al cantiere è in linea con la carreggiata di via Palermo e la recinzione di cantiere occupa la porzione di strada adibita solitamente a parcheggio, per una larghezza di 6 metri, questo ingombro consente l'entrata e l'uscita dei mezzi edili, evitando di bloccare il normale transito veicolare della via, pur limitandone la velocità.

Inoltre l'area del cantiere dovrà avere gli accessi sempre tenuti chiusi con portone socchiuso durante il giorno e chiusi con catena e lucchetto durante la notte.

#### – LOGISTICA DI CANTIERE

La Logistica di Cantiere tratta delle scelte progettuali ed organizzative effettuate nel campo della pianificazione temporale e spaziale dei lavori, al fine di consentire l'organizzazione e il mantenimento del cantiere in condizioni ordinate, di sicurezza e di soddisfacente salubrità.

La corretta impostazione del cantiere ha grande importanza sia ai fini della sicurezza, sia della razionale esecuzione dei lavori e dell'efficienza produttiva.

Gli aspetti riguardanti la sicurezza e la salute dei lavoratori della Logistica di Cantiere sono disciplinati in Italia dal D.Lgs 81/08 – Testo unico della sicurezza e in particolare al Titolo IV (comprende e integra precedenti disposizioni D.Lgs. 494/96) relativo ai cantieri temporanei e mobili nei seguenti articoli e allegati.

Le baracche sono realizzate tramite elementi prefabbricati modulari, e sono posizionate nella parte terminale del lotto di progetto; essendo collocate sotto il raggio operativo della gru, le baracche dovranno essere opportunamente protette da una tettoia.

Nel progetto sono previste l'installazione di due baracche prefabbricate, in particolare a servizio di:

- *Locale Spogliatoio:* deve disporre di adeguata aerazione e illuminazione, ben difeso da intemperie, riscaldato, munito di sedili, mantenuto in buona condizione di pulizia, dotato di attrezzature per chiudere a chiave indumenti personali, dislocazione attrezzature, arredi, passaggi, uscite con criteri di funzionalità ed ergonomia;
- *Locale Docce:* deve essere riscaldato nella stagione fredda, dotato di acqua calda e fredda e mezzi detergenti e per asciugarsi, essere mantenuto in buone condizioni pulizia. Numero minimo docce 1 ogni 10 lavoratori;
- *Gabinetti e lavabi,* dotati di acqua corrente, se necessario calda e mezzi detergenti e per asciugarsi, servizi tali da salvaguardare la decenza e mantenuti puliti; 1 lavabo ogni 5 lavoratori e 1 gabinetto ogni 10;
- *ambiente di assistenza medica;*
- *sala ufficio e riunioni.*



Fig.008 Esempio di baracca prefabbricata in cantiere

#### – AREA DI STOCCAGGIO

Nell'ingombro previsto per il passaggio dei mezzi di cantiere in linea con via Palermo, si è anche ipotizzato un deposito temporaneo dei materiali; inoltre è prevista un'area di stoccaggio dei materiali, protetta da tettoia, di 32 m<sup>2</sup>.

Il materiale viene prelevato mediante la gru dal deposito temporaneo, per poi essere posto all'interno della corte interna, nella zona di stoccaggio.

#### – MOVIMENTAZIONE AEREA

Per il sollevamento e lo spostamento dei materiali all'interno del cantiere si è scelto di posizionare una gru a torre, all'interno della corte.

L'installazione della gru è una delle prime attività di allestimento del cantiere, di conseguenza vanno valutate tutte le possibili interferenze: linee elettriche e tra gru ed edifici.

In particolare, per la scelta della gru, si è considerato:

- l'entità dei carichi da movimentare;
- la quota da superare degli edifici limitrofi;
- lo sbraccio necessario.

Tab.001 Individuazione del carico maggiore per la scelta della gru

MATERIALE	DENSITÀ [kg/m <sup>3</sup> ]	VOLUME [m <sup>3</sup> ]	PESO [kg]
Benna vuota	-	-	140
Calcestruzzo	2200	0,8	1760
Totale calcestruzzo	-	-	1900
Pallet di blocchi Ytong	-	-	850
Pallet lastre Knauf	-	-	1920
Benna mordente	-	-	850
Terreno vegetale	1350	0,95	1285
Totale terreno	-	-	2135

Al fine del dimensionamento della gru a torre, sono stati valutati i carichi delle movimentazioni più gravose tra quelle previste nel progetto, i cui risultati sono riportati nella precedente tabella.

In particolare, il materiale più pesante rilevato, che incide sulla scelta della tipologia di gru commerciale, è il terreno vegetale che deve essere posto nelle coperture a giardino.

Il valore rilevato è pari ad un carico di punta di circa 2135 kg: il modello più piccolo di gru presente sul mercato, che è in grado di movimentare tale quantità, appartiene alla categoria topless e, nella configurazione con sbraccio di 24,2 metri, presenta un carico massimo di punta pari a 2400kg.

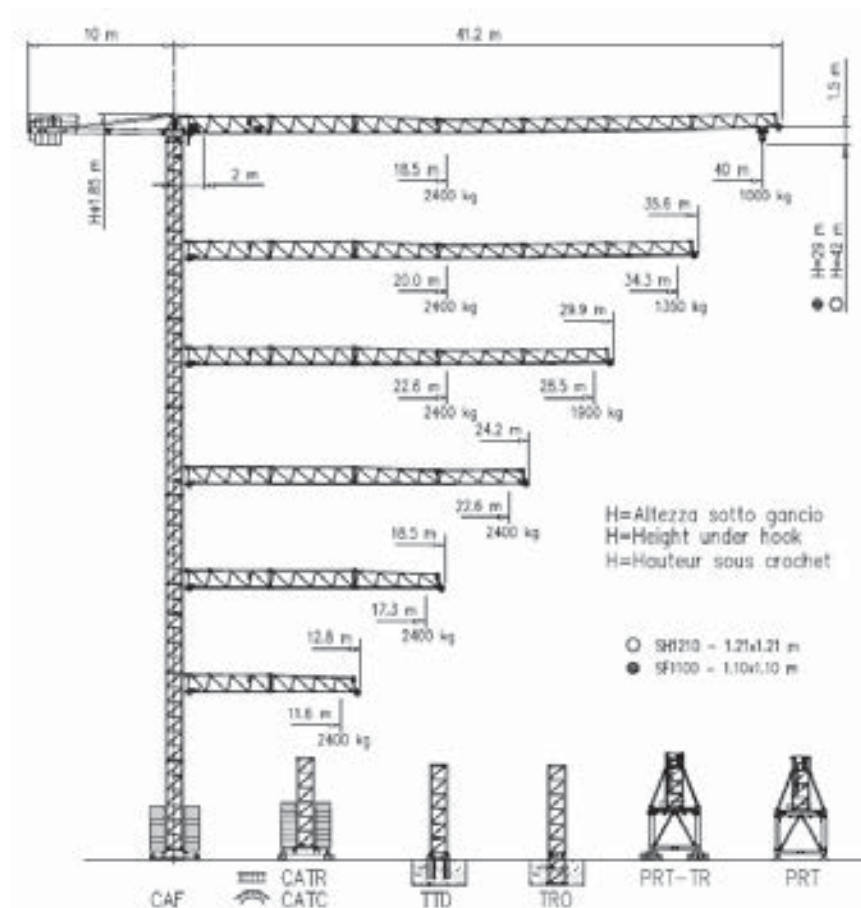


Fig.009 Scheda tecnica della gru





## RINGRAZIAMENTI

Sentiti ringraziamenti a tutti coloro che hanno stimolato e incoraggiato la stesura di questo lavoro di Tesi:

al Professor Graziano Salvalai, che ci ha dato la Sua incondizionata disponibilità nel seguire la tematica affrontata, con chiarimenti e spiegazioni;

al Professor Pietro Tagliabue, per la cordialità dimostrata e la collaborazione fornita nel processo di affinamento del lavoro svolto;

al Professor Marco Imperadori, per averci insegnato l'approccio ad una progettazione attenta e completa nei rispetti dell'evoluzione delle tecniche e delle tecnologie costruttive;

all'Ingegnere Marcello Scola per la gentilezza nell'averci fornito i chiarimenti necessari ad affrontare le incertezze.

### MAURO

Ringrazio la mia famiglia e tutte le persone che mi hanno accompagnato e sostenuto nel percorso di vita e di studi permettendomi di conseguire questo risultato.

Grazie ad Annalisa, amica e coautrice sincera e affidabile.

Grazie sempre al Dottor Roberto Cenzi, Professori Luigi Zanesco e Modesto Carli e loro equipe.

Dedico il presente elaborato ad Anna e Paolo ed a Massimina e Ottavio.

### ANNALISA

Giunta alla conclusione di questo lavoro di Tesi, vorrei ringraziare tutti i Professori che si sono sempre dimostrati disponibili nel fornirmi spiegazioni e consigli per superare le diverse difficoltà incontrate durante questo lungo e intenso percorso di studi. Ricordo con ammirazione la Prof.ssa Silvia Lorenzani che mi ha insegnato ad affrontare la realtà in modo positivo, ricordandomi di pensare al "bicchiere mezzo pieno, e non mezzo vuoto" e la Prof.ssa Monica Conti.

Un sentito e doveroso ringraziamento va ai miei Genitori e al mio fidanzato Michele.

Insieme mi avete sempre sostenuta e incoraggiata, nonostante le mie crisi d'ansia, sono riuscita a superare i momenti in cui avrei voluto mollare tutto. Grazie alla Vostra amorevole presenza, oggi posso dire di avere raggiunto l'Obiettivo tanto desiderato... questa mia grande soddisfazione e felicità la dedico a Voi!

Un pensiero speciale lo dedico ai miei suoceri, per l'affetto che hanno saputo dimostrare nei miei confronti, grazie di cuore!

Inoltre desidero ringraziare la mia famiglia, in particolare mia zia Mariangela che mi è sempre stata vicina.

Un ultimo ringraziamento è rivolto ai compagni di studi, che hanno affrontato con me questo percorso formativo sia nei momenti difficili, sia nei momenti di gioia: siete stati per me più dei veri amici che semplici compagni.

Grazie a Mauro, per aver condiviso con me il lavoro di squadra fin dai primi laboratori e il raggiungimento di questo traguardo importante.



## BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- BASSANI R., Strumenti per la progettazione dell'edificio residenziale, Libreria Clup, Milano, 2002
- BOLOCAN GOLDSTEIN M., BONFANTINI B. (a cura di), Milano incompiuta: interpretazioni urbanistiche del mutamento, Franco Angeli, Milano, 2007
- BORIANI M., La costruzione della Milano moderna: casa e servizi in un secolo di storia cittadina, Clup, Milano, 1982
- DE CARLO V., Le strade di Milano – L-Z, Newton & Compton Editori, Roma, 1998
- DE FINETTI G., Milano: costruzione di una città, Hoepli, 2002
- FIANCHINI M., TUBI N., Tetti e coperture – Dal progetto al prodotto, Maggioli Editore, Repubblica di San Marino, 2009
- GOTTFRIED A., Ergotecnica edile: sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di cassetta, 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 cantieri edili, Utet, Milano, 2011
- GOTTFRIED A., Ergotecnica edile: applicazioni di metodi e strumenti, Esculapio, Bologna, 1995
- GROSSO M., Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato – II Edizione, Maggioli Editore, Repubblica di San Marino, 2008
- IMPERADORI M., La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco, Il Sole24ore, 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 comunicazione del progetto - Nuova edizione aggiornata e ampliata, Il Sole24ore, Milano, 2011
- MASERA G., Residenze e risparmio energetico, Il Sole24ore, Milano, 2004
- 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 CittàStudi, Milano, 1991
- PASETTI A., Luce e spazio nel museo d'arte, EDIFIR, Firenze, 1999
- POLITO S., Costruire nei centri storici, a cura di Adriana De Marco, Cuen editore, 2005
- ROGERS R., GUMUCHDJIAN P., Città per un piccolo pianeta, Erid'A KAPPA, 2000
- ROSSI A., L'architettura della città, Città Studi Edizioni, Torino, 2010
- RUMI G., BURATTI A.C., COVA A., Milano ricostruisce 1945-1954, a cura di Cariplo, Milano 1990
- SANTAMOURIS M., Advances in passive cooling, EARTHSCAN, Padstow, 2007
- SANTAMOURIS M., Building ventilation – the state of the art, EARTHSCAN, Londra, 2006
- SANTAMOURIS M., Natural ventilation in buildings – a design handbook, James & James, Londra, 1998
- SANTAMOURIS M., ASIMAKOPOULOS D., Passive cooling of buildings, James & James, Londra, 1996
- SZOKOLAY S.V., Introduzione alla progettazione sostenibile, Ulrico Hoepli, Milano, 2004
- TALIERCIO A., Introduzione alla meccanica dei solidi, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna, 2006
- TINTORI S., Piano e pianificatori dall'età napoleonica al fascismo, Franco Angeli, Milano, 1992
- TOCCOLINI A. et al., Piano e Progetto di area verde - Manuale di progettazione, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2005
- TONIOLO G., DI PRISCO M., Appunti di tecnica delle costruzioni: elementi strutturali 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 Edizione - Vol.2A, Zanichelli, Bologna, 2001

TONIOLO G., DI PRISCO M., Cemento armato: calcolo agli stati limite - Terza edizione - Vol.2B, Zanichelli, Bologna, 2001

TOURING CLUB ITALIANO, Milano/Touring club italiano – 10° Edizione, Milano, 1998

ZAPPONE C., La serra solare – II Edizione, Sistemi Editoriali, Napoli, 2012

## PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO

PIKAS E., THALFELDT M., KURNITSKI J., Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings, *Energy and Buildings*, n. 74, 2014, pp. 30–42

FERRARA M., FABRIZIO E., VIRGONE J., FILIPPI M., A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings, *Energy and Buildings*, n. 84, 2014, pp. 442–457

CARLUCCI S., PAGLIANO L., An optimization procedure based on thermal discomfort minimization to support the design of comfortable net zero energy buildings, *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, August 26-28, pp.3690-3697

HEISELBERG P., BROHUS H., HESSELHOLT A., RASMUSSEN H., SEINRE E., THOMAS S., Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings, *Energy and Buildings*, n. 34, 2009, pp. 2030–2036

AA.VV., Implementing the cost-optimal methodology in EU countries - lessons learned from three case studies, *Buildings Performance Institute Europe*, 2013

FESANGHARY M., ASADI S., GEEM Z.W., Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm, *Energy and Buildings*, n. 49, 2012, pp. 245–250

WANG J., ZHAI Z., JING Y., ZHANG C., Particle swarm optimization for redundant building cooling heating and power system, *Applied Energy*, n. 87, 2010, pp. 3668-3679

## LEZIONI DI RIFERIMENTO

IMPERADORI M. (a cura di), Progettazione e innovazione tecnologica, Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2012/13

SALVALAI G. (a cura di), Sistemi edilizi ad alta efficienza energetica, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2011/12

SELVAFOLTA O. (a cura di), Storia dell'Architettura II, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2009/10

## CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Archivio di Stato, Milano, <http://esx-archiviomi.cilea.it/Divenire/home.htm>

Servizio Bibliotecario TEDOC, Biblioteca Centrale di Architettura, Milano



## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto interministeriale 2 aprile 1968 n. 1444: Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti

Decreto Ministeriale 5 luglio 1975: Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione

Decreto interministeriale 2 aprile 1986 n. 1444, Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti.

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'eliminazione delle barriere architettoniche

Regolamento Locale d'Igiene: Regolamento approvato dal Consiglio Comunale nella seduta del 9 maggio 1994 con deliberazione n. 172/84 - Atti N. 133296.400 PG. 94, comprensivo di successive modificazioni ed integrazioni

Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1996 n. 503: Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997: Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Regolamento Edilizio del Comune della città di Milano: Regolamento approvato con deliberazione del consiglio comunale n. 81 del 20 luglio 1999

Decreto Ministeriale 10 marzo 2005: Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio

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 integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Decreto Ministeriale 11 marzo 2008: Attuazione dell'articolo 1, comma 24, lettera a) della legge 24 dicembre 2007, n. 244, per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n. 296.

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

Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009 n. 59: Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009, Ministero dello Sviluppo Economico: Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici

Decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74: Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari

UNI ENV 1992-1-1:1993: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

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 6946:1999: Componenti e elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.

UNI EN ISO 7730:2006: Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.

UNI 8290-1:1981: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.

UNI 8290-2:1983: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti.

UNI 8290-3:1987: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti.

UNI EN ISO 10077/2007: Parte 1 e 2: Prestazione termica di finestre, porte chiuse e oscuranti.

UNI 10339: 2010: Impianti aerulici ai fini del benessere.

UNI 10349:1994: riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

UNI/TS 11300-1:2008: Determinazione del fabbisogno di energia tecnica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI/TS 11300-2:2008: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di HCS.

UNI/TS 11300-3:2010: Prestazione energetica degli edifici - Parte 3 – Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

UNI/TS 11300-4:2012: Prestazione energetica degli edifici - Parte 4 – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale per la produzione di acqua calda sanitaria.

UNI EN ISO 13786:2008: Prestazione termica dei componenti per l'edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo.

UNI EN ISO 13790:2005: Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento.

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.

## SITI INTERNET DI RIFERIMENTO

<http://www.comune.milano.it> (Comune di Milano)

<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.casamilanoisola.it/acquisto\\_stabile\\_zona\\_garibaldi.html](http://www.casamilanoisola.it/acquisto_stabile_zona_garibaldi.html)

<http://www.istat.it/it/> (Fonti ISTAT)

<http://www.ilmeteo.it/> (Dati climatici)

<http://lucenergia.velux.it/> (Fonte del programma Daylight Visualizer)

<http://www.solaritaly.enea.it/> (Dati sulla radiazione solare)

<http://www.mygreenbuildings.org> (Informazioni sulla progettazione sostenibile)

<http://www.igmi.org/ancient/cerca.php?mode=pro&cod=54> (Archivio cartografia storica)

<http://www.activehouse.info/> (Standard di efficienza energetica e sostenibilità)

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1232367&page=1621> (mappe di Milano tra 1300 e 1860)

<http://www.popsoarte.it/FixedPages/IT/opereControl.php/L/IT/id/251/action/scheda> (immagine Palazzo Belgioioso)

<http://www.lombardiabeniculturali.it/archivi/unita/MIUD02C151/> (immagini storiche)

[http://it.wikipedia.org/wiki/Storia\\_di\\_Milano](http://it.wikipedia.org/wiki/Storia_di_Milano) (immagini storiche)

<http://archivistorico.dicom.uninsubria.it> (immagini storiche)

<http://www.lombardiabeniculturali.it> (immagini storiche)

<http://www.metropolitanamilanese.it> (Dati sulla temperatura di erogazione dell'acqua)

# INDICE DELLE IMMAGINI

## CAPITOLO 1 ANALISI PRELIMINARI

Fig.001 Cerimonia di Premiazione del Concorso LucEnergia.....	pag.1
Fig.002 Prima tavola del Concorso LucEnergia 2013.....	pag.2
Fig.003 Seconda tavola del Concorso LucEnergia 2013.....	pag.3
Fig.004 Ricostruzione dell'evoluzione di Milano tra il III sec. a.C. e il XIII sec. d.C. ....	pag. 7
Fig.005 Ricostruzione di Milano all'epoca di Federico I (1158) .....	pag.7
Fig.006 Milano nel 1573.....	pag.8
Fig.007 Milano nel 1599.....	pag.8
Fig.008 Milano agli inizi del '700.....	pag.9
Fig.009 Mappa di Marcantonio dal Re del 1735.....	pag.9
Fig.010 Catasto Teresiano, Copia del 1751.....	pag.9
Fig.011 Piano del Pinchetti del 1801.....	pag.10
Fig.012 Piano del Pinchetti del 1807.....	pag.10
Fig.013 Catasto Lombardo Veneto, 1855.....	pag.11
Fig.014 Intervento tra il 1860 e il 1885.....	pag.11
Fig.015 Piano Beruto del 1889.....	pag.12
Fig.016 Nuovo Catasto Terreni, del 1894-1902.....	pag.12
Fig.017 Piano Pavia-Masera, del 1912.....	pag.13
Fig.018 Piano Albertini, del 1934.....	pag.13
Fig.019 I.G.M. 1888.....	pag.14
Fig.020 I.G.M. 1900.....	pag.14
Fig.021 I.G.M. 1907.....	pag.15
Fig.022 I.G.M. 1910.....	pag.15
Fig.023 I.G.M. 1914.....	pag.15
Fig.024 I.G.M. 1924.....	pag.15
Fig.025 I.G.M. 1936.....	pag.15
Fig.026 I.G.M. 1950.....	pag.15
Fig.027 Estratto del Catasto Teresiano, 1721.....	pag.16
Fig.028 Estratto del Lombardo Veneto, 1885.....	pag.17
Fig.029 Estratto del Catasto Cessato, 1898 .....	pag. 17
Fig.030 Estratto del Piano Pavia-Masera, 1912.....	pag.18
Fig.031 Estratto del Piano Albertini, 1934.....	pag.18
Fig.032 Estratto della Carta Tecnica Comunale, 1946.....	pag. 19
Fig.033 Estratto della Carta Tecnica Comunale, 1966.....	pag.19
Fig.034 Estratto della Carta Tecnica Regionale, 1985.....	pag.20
Fig.035 Estratto della Carta Tecnica Regionale, 1994.....	pag.20
Fig.036 Veduta milanese, 1845.....	pag.24
Fig.037 Ritratto Piermarini .....	pag.24
Fig.038 Palazzo Belgioioso, 1787.....	pag.25
Fig.039 Teatro alla Scala, 1790.....	pag.25
Fig.040 Arco della Pace, in piazza Sempione .....	pag.25
Fig.041 Tipi edilizi, Via Dante.....	pag.26
Fig.042 Casa in via Dante, 16.....	pag.26
Fig.043 Confronto tra forma del lotto e forma dell'edificio.....	pag.26
Fig.044 Via Dante, piano di lottizzazione, 1886-1889.....	pag.27
Fig.045 Casa in via Dante, 14.....	pag.27
Fig.046 Casa in via Dante, 15.....	pag. 27
Fig.047 Dimora storica, tipo villino isolato.....	pag.28
Fig.048 Assonometria quartiere Solari .....	pag.29
Fig.049 quartiere Solari, visto dalla via Giambellino (foto archivio Iacpm).....	pag.29
Fig.050 quartiere Solari, visto dalla via Giambellino (foto archivio Iacpm).....	pag.29

Fig.051 Assonometria quartiere Genova.....	pag.30	Fig.077 Il piano terra - caso 2.....	pag.43
Fig.052 Soluzione d'angolo del quartiere Genova (foto archivio Iacpm).....	pag.30	Fig.079 Il corpo di fabbrica.....	pag.44
Fig.053 Casa della Meridiana, via San Calimero - Giuseppe De Finetti.....	pag.33	Fig.080 L'ultimo piano - caso 1.....	pag.44
Fig.054 Casa Rustici, Pietro Lingeri e Giuseppe Terragni.....	pag.34	Fig.081 L'ultimo piano - caso 2.....	pag.44
Fig.055 Casa in via Domenichino, Gio Ponti.....	pag.34	Fig.082 L'ultimo piano - caso 3.....	pag.44
Fig.056 Casa e Torre Rasini, Gio Ponti.....	pag.35	Fig.083 I lotti e gli edifici.....	pag. 45
Fig.057 Domus in via De Togni, la Julia, la Carola, la Fausta.....	pag.35	Fig.084 La cortina edilizia - caso 1.....	pag. 45
Fig.058 Logo INA-Casa.....	pag.36	Fig.085 La cortina edilizia - caso 2.....	pag.45
Fig.059 Case Popolari Ina-casa , via G. Ripamonti 156.....	pag.36	Fig.086 La cortina edilizia - caso 3.....	pag.45
Fig.060 Torre Velasca, BBPR.....	pag.37	Fig.087 Le corti - caso 1.....	pag.46
Fig.061 Grattacielo Pirelli, Giovanni Ponti .....	pag.37	Fig.088 Le corti - caso 2.....	pag.46
Fig.062 Edificio residenziale in via Nievo di Luigi Caccia Dominioni, 1957.....	pag.37	Fig.089 Le corti - caso 3.....	pag.46
Fig.063 Edificio residenziale in piazza dei Carbonari,1961 - Luigi Caccia Dominioni ..	pag.38	Fig.090 La casa all'angolo - caso 1.....	pag.46
Fig.064 Edificio residenziale in via Quadronno,1960 - Angelo Mangiarotti.....	pag.38	Fig.091 La casa all'angolo - caso 2.....	pag.47
Fig.065 Planimetria complesso "Monte Amiata".....	pag.39	Fig.092 La casa all'angolo - caso 3.....	pag.47
Fig.066 Vista complesso "Monte Amiata".....	pag.39	Fig.093 Gli edifici ci isolati.....	pag.47
Fig.067 Breatbuilding, via Torino Dante Benini & Partners.....	pag.39	Fig.094 Piano delle Regole, Allegato R.01/2D "Ambiti Territoriali".....	pag.48
Fig.068 Breatbuilding, via Torino - Dante Benini & Partners.....	pag.40	Fig.095 Veduta satellitare dell'area di via Palermo, Milano.....	pag.48
Fig.069 La Serenissima - Park Associati.....	pag.40	Fig.096 Rilievo dei fronti urbani in prossimità del lotto di progetto.....	pag.49
Fig.070 U15- Milanofiori Cino Zucchi Architetti.....	pag. 41	Fig.097 Via Palermo, Milano.....	pag.50
Fig.071 Expo Milano.....	pag.41	Fig.098 Lotto di progetto.....	pag.50
Fig.072 Immagine satellitare, tessuto urbano milanese.....	pag.42	Fig.099 Skyline del centro di Milano.....	pag.50
Fig.073 Edificio e forma del lotto - caso 1.....	pag.42	Fig.100 Fronte urbano opposto al sito di progetto.....	pag.50
Fig.074 Edificio e forma del lotto - caso 2.....	pag.43	Fig.101 Materiali e cromie del fronte Sud di via Palermo, Milano.....	pag.51
Fig.075 Edificio e forma del lotto - caso 3.....	pag.43	Fig.102 Materiali e cromie del fronte Nord di via Palermo, Milano.....	pag.52
Fig.076 Il piano terra - caso 1.....	pag.43	Fig.103 Viabilità stradale extra-comunale.....	pag.53



Fig.104 Configurazione radiale della viabilità.....	pag.53
Fig.105 Area soggetto a a pedaggio.....	pag.54
Fig.106 Viabilità dei mezzi pubblici.....	pag.54
Fig.107 Viabilità nei pressi dell'area di progetto.....	pag.55
Fig.108 Uscita della metropolitana di fronte a Corso Garibaldi.....	pag.55
Fig.109 Viabilità stradale del quartiere di Brera: Via Legnano,Via Palermo,Corso Garibaldi.....	pag.56
Fig.110 Il cortile dell'Accademia di Brera alla fine del XVIII secolo, stampa d'epoca..	pag.57
Fig.111 Il cortile dell'Accademia di Brera nella configurazione odierna.....	pag. 57
Fig.112 Parco del Sempione, Milano.....	pag. 58
Fig.113 Orti Botanici dell'Accademia di Brera, Milano.....	pag.58
Fig.114 Inquadramento dei servizi.....	pag. 59
Fig.115 Attività commerciali e produttive.....	pag.61
Fig.116 Censimenti della popolazione residente a Milano, fonte ISTAT.....	pag. 62
Fig.117 Andamento della popolazione residente a Milano, fonte ISTAT .....	pag.62
Fig.118 Saldo naturale e sociale di Milano nel 2013, fonte ISTAT.....	pag.62
Fig.119 Variazione percentuale della popolazione residente, fonte ISTAT.....	pag.62
Fig.120 Popolazione di Milano per età, sesso e stato civile, fonte ISTAT.....	pag.63
Fig.121 Grafico della composizione del nucleo familiare a Milano.....	pag. 63
Fig.122 Classificazione climatica secondo Koppen relativamente all'area Europea.....	pag.64
Fig.123 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano.....	pag.65
Fig.124 Mappa climatica italiana, DLGS 311 del 29/12/2006.....	pag.68
Fig.125 Distribuzione annuale dell'irradiazione media mensile.....	pag.70
Fig.126 Irradiazione media mensile su superfici verticali, parte I.....	pag.72
Fig.127 Irradiazione media mensile su superfici verticali, parte II.....	pag.73
Fig.128 Irradianza solare massima estiva su superfici diversamente orientate:	

parte I.....	pag.74
Fig.129 Irradianza solare massima estiva su superfici diversamente orientate, parte II.....	pag.74
Fig.130 Angoli d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva.....	pag.75
Fig.131 Rosa dei venti, valori medi annuali.....	pag.76
Fig.132 Rose dei venti, valori medi mensili, parte I.....	pag.77
Fig.133 Rose dei venti, valori medi mensili, parte II.....	pag.78
Fig.134 Precipitazioni mensili, dati del 2010.....	pag.79
Fig.135 Valori medi mensili dell'umidità relativa a Milano.....	pag.80
Fig.136 Diagramma di Olgyay relativo all'ambiente di Milano.....	pag.81
<b>CAPITOLO 2 PROGETTO ARCHITETTONICO</b>	
Fig.001 Estratto della tavola R.01/2D del PGT di Milano.....	pag.85
Fig.002 Estratto della tavola delle modalità di intervento, variante 12 al PRG del 1980.....	pag.86
Fig.003 Estratto della tavola del progetto guida, variante 12 al PRG del 1980.....	pag.86
Fig.004 Suddivisione del lotto di progetto come da prescrizioni del Piano delle Regole.....	pag.88
Fig.005 Resa grafica dei vincoli urbanistici al volume edificabile, fronte nord.....	pag.90
Fig.006 Resa grafica dei vincoli urbanistici al volume edificabile, fronte est.....	pag.90
Fig.007 Limite di edificabilità come da prescrizioni del Regolamento Edilizio di Milano .....	pag.92
Fig.008 Fronte strada del complesso di Wansley Street, adiacente al palazzo Walworth.....	pag. 93
Fig.009 Immagini del progetto residenziale a Londra.....	pag. 94
Fig.010 Prospetto su strada dell'edificio al numero 45 di rue Louis Blanc, Parigi.....	pag.95
Fig.011 Immagini del progetto residenziale a Parigi.....	pag. 95

Fig.012 Vista aerea del complesso "Mountain dwellings", Copenhagen.....	pag.96	Fig.032 Morfologia di progetto.....	pag.107
Fig.013 Immagini del progetto residenziale a Copenaghen.....	pag.97	Fig.033 Serra addossata, tratta da "L'architecture d'aujourd'hui".....	pag.108
Fig.014 Diritto alla luce su via Palermo, soluzione a tetto piano.....	pag.98	Fig.034 Serra incorporata, tratta da Architetture di Georg W. Reinberg.....	pag.108
Fig.015 Diritto alla luce su via Palermo, soluzione a tetto a falde.....	pag.98	Fig.035 Serra semi-incorporata, immagine di Zanoni Architekten.....	pag.108
Fig.016 Diritto alla luce degli edifici a est del lotto, soluzione a volume massimo.....	pag.99	Fig.036 Immagine serra a guadagno diretto.....	pag.109
Fig.017 Diritto alla luce degli edifici a est del lotto, soluzione a piani sfalsati.....	pag.99	Fig.037 Immagine serra a scambio convettivo.....	pag.109
Fig.018 Diritto alla luce degli edifici ad ovest del lotto, soluzione a volume massimo.....	pag.100	Fig.038 Immagine serra a scambio radiante.....	pag.110
Fig.019 Diritto alla luce degli edifici ad ovest del lotto, soluzione a piani sfalsati.....	pag. 100	Fig.039 Planivolumetrico di progetto.....	pag. 113
Fig.020 Esposizione solare della corte, periodo invernale, soluzione a volume massimo.....	pag. 101	Fig.040 Layout distributivo.....	pag. 114
Fig.021 Esposizione solare della corte, periodo estivo, soluzione a volume massimo.....	pag.101	Fig.041 Immagine interno bottega dell'Arte.....	pag.115
Fig.022 Esposizione solare della corte, periodo invernale, soluzione a piani sfalsati.....	pag. 101	Fig.042 Attività interne alla Bottega dell'Arte.....	pag.115
Fig.023 Esposizione solare della corte, periodo estivo, soluzione a piani sfalsati.....	pag.101	Fig.043 Vista interna della Caffetteria.....	pag.116
Fig.024 Corti interne a giardino.....	pag. 102	Fig.044 Immagini Caffetteria.....	pag. 116
Fig.025 Coperture a falde.....	pag.103	Fig.045 Pianta piano terra.....	pag.117
Fig.026 Vegetazione in copertura.....	pag.103	Fig.046 Immagine degli spruzzi d'acqua all'interno della corte.....	pag.118
Fig.027 Raffigurazione di Paul Flora Nostalgische Anlaghe (1974).....	pag.104	Fig.047 Immagine del Tiglio.....	pag.118
Fig.028 Indicazione superfici di progetto.....	pag.105	Fig.048 Pianta del piano primo.....	pag.123
Fig.029 Sfruttamento delle energie rinnovabili.....	pag. 106	Fig.049 Pianta del piano secondo.....	pag.124
Fig.030 Superfici di recupero dell'acqua piovana.....	pag.106	Fig.050 Pianta del piano terzo.....	pag.125
Fig.031 Posizionamento delle serre bioclimatiche.....	pag.107	Fig.051 Pianta del piano quarto.....	pag.126
		Fig.052 Pianta del piano soppalco.....	pag.127
		Fig.053 Sezione architettonica longitudinale in direzione nord-sud.....	pag.129
		Fig.054 Vista dall'alto della tipologia monolocale.....	pag.130
		Fig.055 Vista dall'alto della tipologia bilocale.....	pag.132
		Fig.056 Vista dall'alto della tipologia trilocale.....	pag.134
		Fig.057 Vista dall'alto della tipologia duplex.....	pag.136

Fig.058 Vista dall'alto della tipologia attico, livello d'ingresso.....	pag.138
Fig.059 Vista dall'alto della tipologia attico, livello soppalco.....	pag.139
Fig.060 Allineamenti della cortina edilizia sul fronte Nord di progetto.....	pag.141
Fig.061 Immagine pannelli in acciaio CorTen.....	pag.142
Fig.062 Immagine pannelli in fibrocemento.....	pag.142
Fig.063 Immagini lega di zinco-titanio.....	pag.142
Fig.064 Prospetto Nord di progetto.....	pag.143
Fig.065 Prospetto Est di progetto.....	pag.144
Fig.066 Prospetto Sud di progetto.....	pag.145
Fig.067 Prospetto Ovest di progetto.....	pag.146

### CAPITOLO 3 ANALISI ILLUMINOTECNICA

Fig.001 Spettro della radiazione solare.....	pag.151
Fig.002 Definizione di illuminamento medio.....	pag.152
Fig.003 Definizione di luminanza.....	pag.153
Fig.004 Determinazione del fattore finestra $\varepsilon$ .....	pag.155
Fig.005 Determinazione del fattore di riduzione $\psi$ .....	pag.155
Fig.006 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.157
Fig.007 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.157
Fig.008 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.158
Fig.009 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.158
Fig.010 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.159
Fig.011 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.159
Fig.012 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.160
Fig.013 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.160
Fig.014 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.161
Fig.015 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.161

Fig.016 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.162
Fig.017 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.162
Fig.018 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.163
Fig.019 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.163
Fig.020 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.164
Fig.021 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.164
Fig.022 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.165
Fig.023 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.165
Fig.024 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.166
Fig.025 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.166
Fig.026 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.167
Fig.027 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.167
Fig.028 Grafico del diritto alla luce della superficie in esame.....	pag.168
Fig.029 Ombreggiamento percentuale in funzione del percorso solare.....	pag.168
Fig.030 FLD relativo al primo piano dell'edificio.....	pag.169
Fig.031 FLD della residenza monolocale.....	pag.170
Fig.032 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del monolocale.....	pag.171
Fig.033 FLD della residenza bilocale.....	pag.172
Fig.034 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona notte del bilocale.....	pag.173
Fig.035 FLD della residenza trilocale.....	pag.174
Fig.036 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del trilocale.....	pag.175
Fig.037 FLD della residenza duplex.....	pag.176
Fig.038 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno del duplex.....	pag.177
Fig.039 FLD della residenza attico, piano di ingresso.....	pag.178
Fig.040 FLD della residenza attico, piano soppalco.....	pag.179
Fig.041 Grafici dell'illuminanza e della luminanza: zona giorno dell'attico.....	pag.180

## CAPITOLO 4 TECNOLOGIA COSTRUTTIVA

Fig.001 Passivhaus - Chignolo d'Isola (BG), realizzata da Vanoncini nel 2000.....	pag.186
Fig.002 Immagine isolante in lana di vetro.....	pag.188
Fig.003 Immagine isolante in canapa.....	pag.189
Fig.004 Immagine isolante in canna palustre.....	pag.190
Fig.005 Immagine isolante in fibra di legno.....	pag.190
Fig.006 Immagine isolante in lana di pecora.....	pag.191
Fig.007 Immagine del materassino in gomma riciclata.....	pag.192
Fig.008 Estratto del D.M. 11 marzo 2008.....	pag.193
Fig.009 Confronto delle trasmittanze termiche stazionarie per gli elementi di involucro.....	pag.194
Fig.010 Estratto del D.M.26/06/2009.....	pag.194
Fig.011 Confronto dei fattori di attenuazione per gli elementi di involucro.....	pag.195
Fig.012 Rappresentazione di grandezze sinusoidali con sfasamento.....	pag.195
Fig.013 Confronto degli sfasamenti per gli elementi di involucro.....	pag.196
Fig.014 Confronto delle trasmittanze termiche periodiche per gli elementi di involucro.....	pag.197
Fig.015 Confronto delle masse superficiali per gli elementi di involucro.....	pag.197
Fig.016 Confronto delle capacità termiche areiche per gli elementi di involucro.....	pag.198
Fig.017 Confronto delle capacità termiche periodiche interne per gli elementi di involucro.....	pag.199
Fig.018 Chiusura verticale con finitura esterna in fibrocemento.....	pag.201
Fig.019 Percentuale di superficie di involucro composta dall'elemento tecnico in esame, in rapporto a quelle delle altre chiusure.....	pag.202
Fig.020 Riepilogo del confronto tra diversi materiali isolanti in relazione alla C.V.01.....	pag.203
Fig.021 Contributo di massa dei materiali che compongono l'elemento tecnico.....	pag.203
Fig.022 Incidenza sul costo dei materiali che compongono l'elemento tecnico.....	pag.203
Fig.023 Chiusura verticale con finitura esterna in acciaio CorTen.....	pag.204
Fig.024 Chiusura verticale con struttura in calcestruzzo armato.....	pag.205
Fig.025 Chiusura verticale controterra.....	pag.206
Fig.026 Chiusura orizzontale praticabile a giardino intensivo.....	pag.208
Fig.027 Chiusura inclinata.....	pag.209
Fig.028 Chiusura orizzontale praticabile.....	pag.210
Fig.029 Chiusura orizzontale su spazi aperti.....	pag.211
Fig.030 Chiusura orizzontale praticabile a giardino estensivo.....	pag.212
Fig.031 Chiusura orizzontale inferiore controterra.....	pag.213
Fig.032 Partizione verticale interna.....	pag.215
Fig.033 Partizione verticale interna con intercapedine impiantistica.....	pag.216
Fig.034 Partizione verticale interna tra unità abitative.....	pag.216
Fig.035 Partizione orizzontale interna tra unità abitative.....	pag.217
Fig.036 Partizione orizzontale interna per il piano soppalcato.....	pag.218
Fig.037 Partizione orizzontale esterna.....	pag.218
Fig.038 Tipologia infisso di progetto.....	pag.219
Fig.039 Particolare della sezione verticale in corrispondenza degli infissi esterni.....	pag.220
Fig.040 Particolare della sezione verticale in corrispondenza della finestra per tetti.....	pag.221
Fig.041 Particolare della sezione orizzontale della chiusura verticale.....	pag.221

## CAPITOLO 5 ANALISI ENERGETICA

Fig.001 First Living Model Home, Santa Monica, California, USA.....	pag.229
Fig.002 Piante e interni della First Living Model Home, Santa Monica, California, USA.....	pag.230
Fig.003 Kingspan Lighthouse, Inghilterra.....	pag.223
Fig.004 SOLTAG Energy Housing, Horsholm, Danimarca.....	pag.236
Fig.005 Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building, Pechino, Cina.....	pag.239
Fig.006 Modello tridimensionale dell'edificio di progetto, eseguito in SketchUp mediante il plug-in Trnsys3D, per l'importazione nell'ambiente di simulazione di Trnsys.....	pag.244
Fig.007 Modello tridimensionale della sola residenza di tipo duplex, utilizzata nella simulazione dinamica del progetto.....	pag.244
Fig.008 Collocazione della residenza duplex all'interno del volume di progetto.....	pag.245
Fig.009 Schermata iniziale del Simulation Studio.....	pag.245
Fig.010 Finestra variabili del Type 15-2, scheda External Files.....	pag.246
Fig.011 Finestra variabili del Type 2d, scheda Parameter.....	pag.247
Fig.012 Finestra variabili del Type 65d, scheda Parameter.....	pag.247
Fig.013 Finestra di impostazione delle equazioni del componente Equation Tool.....	pag.248
Fig.014 Finestra variabili del Type 56, scheda External Files.....	pag.249
Fig.015 Finestra dell'interfaccia di TrnBuild.....	pag.250
Fig.016 Gestione e definizione di schedules giornalieri.....	pag.251
Fig.017 Gestione e definizione di schedules settimanali.....	pag.251
Fig.018 Finestra di impostazione degli input in TrnBuild.....	pag.252
Fig.019 Finestra di impostazione degli output in TrnBuild.....	pag.252
Fig.020 Finestra di impostazione dei layer in TrnBuild.....	pag.253
Fig.021 Finestra di impostazione degli elementi tecnici in TrnBuild.....	pag.254
Fig.022 Finestra di impostazione degli infissi in TrnBuild.....	pag.255
Fig.023 Finestra di impostazione delle infiltrazioni in TrnBuild.....	pag.256
Fig.024 Finestra di impostazione delle infiltrazioni in TrnBuild, dettaglio.....	pag.256
Fig.025 Finestra di impostazione delle ventilazioni meccaniche in TrnBuild.....	pag.257
Fig.026 Finestra di impostazione del riscaldamento in TrnBuild.....	pag.257
Fig.027 Finestra di impostazione del raffrescamento in TrnBuild.....	pag.258
Fig.028 Finestra di impostazione dei carichi interni in TrnBuild.....	pag.259
Fig.029 Schema di riepilogo degli 8 modelli alla base dell'ottimizzazione.....	pag.261
Fig.030 Finestra di impostazione dei controller Type 2b.....	pag.262
Fig.031 Schermata del Simulation Studio nel caso di VNC.....	pag.263
Fig.032 Finestra di impostazione del componente Type 28b, scheda Parameter.....	pag.264
Fig.033 Finestra di impostazione del componente Type 28b, scheda Special Cards.....	pag.265
Fig.034 Finestra di impostazione del componente Type 91, scheda Parameter.....	pag.265
Fig.035 Schermata del Simulation Studio nel caso di VMC.....	pag.266
Fig.036 Finestra di impostazione del componente Type 91, scheda Input.....	pag.267
Fig.037 Schedule per la Zona Giorno, LIL.....	pag.268
Fig.038 Schedule per la Zona Giorno, HIL.....	pag.268
Fig.039 Schedule per la Zona Notte, LIL.....	pag.268
Fig.040 Schedule per la Zona Notte, HIL.....	pag.268
Fig.041 Piante della tipologia residenziale duplex.....	pag.273



Fig.042 Grafico di riepilogo dei risultati dell'ottimizzazione.....	pag.285
Fig.043 Rapporto tra riduzione dei costi di costruzione e costi di gestione.....	pag.286
Fig.044 Fabbisogno per la climatizzazione delle soluzioni a costo di costruzione minimo.....	pag.287
Fig.045 Fabbisogno per la climatizzazione delle soluzioni a consumo energetico minimo.....	pag.287
Fig.046 Temperatura interna del modello senza controllo del comfort.....	pag.289
Fig.047 Temperatura interna del modello con controllo del comfort.....	pag.290
Fig.048 Valutazione qualitativa dei livelli di comfort igrotermico per i modelli di studio.....	pag.290
Fig.049 Gradi-ora annuali che non rientrano nelle classi di comfort considerate.....	pag.291
Fig.050 Percentuale di ore annue per classe di comfort.....	pag.291
Fig.051 Confronto dei fabbisogni energetici tra modelli a consumo minimo e modello ottimale.....	pag.291
Fig.052 Ventilazione Naturale Controllata, frequenza di attivazione nel mese di luglio.....	pag.292
Fig.053 Temperature nel giorno più caldo, Zona Giorno.....	pag.294
Fig.054 Temperature nel giorno più caldo, Zona Notte.....	pag.294
Fig.055 Funzionamento dell'edificio invernale.....	pag.297
Fig.056 Funzionamento dell'edificio nelle stagioni intermedie.....	pag.298
Fig.057 Funzionamento dell'edificio estivo diurno.....	pag.301
Fig.058 Funzionamento dell'edificio estivo notturno.....	pag.302
Fig.059 Funzionamento delle schermature in fase estiva.....	pag.303
Fig.060 Funzionamento delle schermature in fase invernale.....	pag.304
Fig.061 Schema impiantistico, funzionamento estivo.....	pag.306
Fig.062 Schema impiantistico, funzionamento invernale.....	pag.307

Fig.063 Bilancio energetico mensile.....	pag.313
Fig.064 Indicatori ottenuti dal Software di certificazione CENED+.....	pag.316
Fig.065 Classe energetica calcolata mediante il software CENED+.....	pag.316
Fig.066 Active House Radar di progetto.....	pag.318

## CAPITOLO 6 PROGETTO STRUTTURALE

Fig.001 Estratto della tavola G_01_Carta Litologica_2_N-E.....	pag.323
Fig.002 Estratto della tavola G_02_Carta Idrogeologica_2_N-E.....	pag.323
Fig.003 Collocazione del sito di progetto, software Spettri di risposta.....	pag.335
Fig.004 Tabella dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta.....	pag.335
Fig.005 Interpolazione dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta.....	pag.336
Fig.006 Grafico degli spettri di risposta elastici, software Spettri di risposta.....	pag.336
Fig.007 Tempo di ritorno di progetto, software Spettri di risposta.....	pag.338
Fig.008 Tabella dei parametri dell'azione sismica, software Spettri di risposta.....	pag.338
Fig.009 Grafico degli spettri di risposta elastici, software Spettri di risposta.....	pag.339
Fig.010 Spettro di risposta elastico di progetto, software Spettri di risposta.....	pag.342
Fig.011 Grafico degli spettri di risposta per la verifica SLD, software Spettri di risposta.....	pag.343
Fig.012 Tabella degli spettri di risposta per la verifica SLD, software Spettri di risposta.....	pag.343
Fig.013 Spettro di risposta elastico di progetto, software Spettri di risposta.....	pag.344
Fig.014 Grafico degli spettri di risposta per la verifica SLV, software Spettri di risposta.....	pag.345
Fig.015 Tabella degli spettri di risposta per la verifica SLV, software Spettri di risposta.....	pag.345
Fig.016 Copia della Fig. 3.3.1 della norma, mappa delle zone in cui è suddiviso	

il territorio italiano.....	pag.348
Fig.017 Estratto della Fig. 3.3.2 della norma, definizione delle categorie di esposizione.....	pag.349
Fig.018 Figura 3.3.3 della norma, andamento del coefficiente di esposizione $c_e$ .....	pag.349
Fig.019 Figura C3.3.2 della Circolare, valori assunti dal coefficiente di forma $c_p$ .....	pag.350
Fig.020 Rappresentazione tridimensionale della struttura del progetto.....	pag.354
Fig.021 Caratteristiche fisiche e geometriche della lamiera grecata in esame.....	pag.355
Fig.022 Valori massimi di portata della lamiera grecata in esame.....	pag.356
Fig.023 Caratteristiche fisiche e geometriche della lamiera grecata in esame.....	pag.357
Fig.024 Schemi statici della trave in esame, verifica SLE.....	pag.359
Fig.025 Schemi statici della trave in esame, verifica SLU.....	pag.360
Fig.026 Estratto della tabella 4.2.I del DM del 14 gennaio 2008.....	pag.361
Fig.027 Estratto della tabella 4.2.II del DM del 14 gennaio 2008.....	pag.361
Fig.028 Estratto della Figura 4.2.3 delle NTC2008.....	pag.370
Fig.029 Giunto trave pilastro con la disposizione dei bulloni ipotizzata, sezione verticale.....	pag.370
Fig.030 Giunto trave pilastro con la disposizione dei bulloni ipotizzata, sezione orizzontale.....	pag.371
Fig.031 Pianta tipo della struttura.....	pag.372
Fig.032 Sezione strutturale.....	pag.373
Fig.033 Area di influenza della trave reticolare.....	pag.374
Fig.034 Rappresentazione della trave reticolare di progetto.....	pag.374
Fig.035 Distribuzione dei carichi per la verifica a SLE.....	pag.375
Fig.036 Distribuzione dei carichi per la verifica a SLU.....	pag.376
Fig.037 Rappresentazione della struttura delle schermature solari esterne.....	pag.376
Fig.038 Carichi e verifica a SLE.....	pag.377

Fig.039 Carichi e momenti risultanti a SLU.....	pag.377
Fig.040 Geometria dei livelli 1, 2 e 3 per il calcolo dei centri di massa.....	pag.378
Fig.041 Geometria dei livelli 4 e 5 per il calcolo dei centri di massa.....	pag.378
<b>CAPITOLO 7 ANALISI ERGOTECNICA</b>	
Fig.001 Localizzazione del cantiere in via Palermo.....	pag.385
Fig.002 Analisi accessibilità al cantiere da macro-scala a micro-scala.....	pag.386
Fig.003 Esempio in cantiere di applicazione di micropali di sostegno.....	pag.387
Fig.004 Esempio dei mezzi edili previsti per la fase di scavo.....	pag.388
Fig.005 Esempio di getto delle fondazioni in cantiere.....	pag.389
Fig.006 Esempio di assemblaggio della struttura metallica in cantiere.....	pag.389
Fig.007 Esempio di recinzione in pannelli metallici.....	pag.390
Fig.008 Esempio di baracca prefabbricata in cantiere.....	pag.391
Fig.009 Scheda tecnica della gru.....	pag.392
Fig.010 Layout di cantiere.....	pag.393



# INDICE DELLE TABELLE

## CAPITOLO 1 ANALISI PRELIMINARI

Tab.001 Distanze e tempi di percorrenza dal sito di progetto ai principali punti di interesse.....	pag.55
Tab.002 Numero e categorie di attività commerciali presenti nell'area di Brera.....	pag.60
Tab.003 Categorie di utenza nelle zone limitrofe al sito di progetto.....	pag.60
Tab.004 Composizione del nucleo familiare dei residenti a Milano.....	pag.63
Tab.005 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano, parte I.....	pag.65
Tab.006 Distribuzione annuale delle temperature dell'aria esterna a Milano, parte II.....	pag.66
Tab.007 Valori medi mensili delle temperature dell'aria esterna a Milano.....	pag.66
Tab.008 Prospetto II, UNI 10349.....	pag.67
Tab.009 Parametri climatici medi annuali.....	pag.67
Tab.010 Valori medi e massimi delle grandezze annuali considerate.....	pag.68
Tab.011 Valori medi e massimi delle grandezze annuali considerate.....	pag.68
Tab.012 Prospetto VIII, UNI 10349.....	pag.70
Tab.013 Irradiazione solare giornaliera media mensile, UNI 10349.....	pag.71
Tab.014 Irradianza solare massima estiva, UNI 10349.....	pag.74
Tab.015 Prospetto XIX, UNI 10349.....	pag.75
Tab.016 Prospetto XX, UNI 10349.....	pag.75
Tab.017 Venti mensili dominanti.....	pag.76
Tab.018 Valori medi stagionali delle precipitazioni a Milano, fonte ISTAT.....	pag.79
Tab.019 Valori medi mensili delle precipitazioni a Milano, fonte ISTAT.....	pag.79
Tab.020 Limiti medi per condizioni igrotermiche ottimali.....	pag.81

## CAPITOLO 2 PROGETTO ARCHITETTONICO

Tab.001 Estratto dell'Allegato E delle NTA del PRG 1980, relativo al lotto di progetto.....	pag.87
Tab.002 Calcolo dell'indice RIE e confronto con lo stato di fatto.....	pag.105
Tab.003 Superfici utili minime degli ambienti residenziali, Art. 97 Regolamento Edilizio.....	pag.120

## CAPITOLO 4 TECNOLOGIA COSTRUTTIVA

Tab.001 Confronto dei prezzi tra le alternative di isolanti termici esaminati.....	pag.202
Tab.002 Prezzo complessivo dell'elemento tecnico.....	pag.202
Tab.003 Confronto delle energie incorporate nei materiali isolanti.....	pag.203

## CAPITOLO 5 ANALISI ENERGETICA

Tab.001 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame.....	pag.231
Tab.002 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame.....	pag.234
Tab.003 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame.....	pag.237
Tab.004 Riepilogo delle caratteristiche del progetto in esame.....	pag.240
Tab.005 Parametri identificativi delle proprietà dell'involucro edilizio: definizione dei valori limite e del livello di discretizzazione scelti per la simulazione.....	pag.270
Tab.006 Tipologie di vetro individuate nella gamma di prodotti disponibili sul mercato per il sistema di chiusure trasparenti scelto nel progetto.....	pag.270
Tab.007 Dettaglio dei parametri d'involucro utilizzati nell'ottimizzazione.....	pag.271
Tab.008 Dettaglio delle tipologie di vetro utilizzate nell'ottimizzazione.....	pag.272
Tab.009 Valori di design raccomandati per la temperatura interna dell'edificio.....	pag.289
Tab.010 Valori di design raccomandati per la temperatura interna dell'edificio.....	pag.289
Tab.011 Valori minimi e massimi della temperatura con calcolo dell'attenuazione	pag.294
Tab.012 Valori minimi e massimi della temperatura con calcolo dell'attenuazione	pag.294
Tab.013 Valori orari delle temperature nel giorno più caldo: 9 luglio.....	pag.295

Tab.014 Verifica della ventilazione secondo il metodo NORMA.....	pag.295
Tab.015 Calcolo delle portate giornaliere di fabbisogno di ACS.....	pag.308
Tab.016 Fabbisogno energetico per la climatizzazione calcolato dal software Trnsys.....	pag.309
Tab.017 Coefficienti di deflusso di progetto.....	pag.311
Tab.018 Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata.....	pag.312
Tab.019 Riepilogo numerico relativo al bilancio energetico mensile dell'edificio di progetto.....	pag.314

## CAPITOLO 6 PROGETTO STRUTTURALE

Tab.001 Classificazione ERSAL.....	pag.323
Tab.002 Estratto della tabella 2.5.I del DM 14/1/2008.....	pag.327
Tab.003 CV01 Chiusura verticale con finitura esterna in pannelli in fibrocemento..	pag.328
Tab.004 CV02 Chiusura verticale con finitura esterna in acciaio CorTen.....	pag.329
Tab.005 PVI01 Partizione verticale interna.....	pag.329
Tab.006 PVI01 Partizione verticale interna tra unità abitative.....	pag.330
Tab.007 CO01 Chiusura orizzontale praticabile con sistema a tetto giardino tipo intensivo.....	pag.330
Tab.008 CO02 Chiusura inclinata.....	pag.331
Tab.009 CO03 Chiusura orizzontale praticabile.....	pag.331
Tab.010 CO04 Chiusura orizzontale su spazi aperti.....	pag.332
Tab.011 CO05 Chiusura orizzontale praticabile con sistema a tetto giardino tipo estensivo.....	pag.332
Tab.012 POI01 Partizione orizzontale interna.....	pag.333
Tab.013 Pesi dei rimanenti elementi tecnici di progetto.....	pag.333
Tab.014 Carichi di esercizio per tipologia d'uso, estratto della norma.....	pag.334
Tab.015 Pesi dei rimanenti pacchetti tecnologici di progetto.....	pag.334
Tab.016 Probabilità di superamento $P_{VR}$ al variare dello stato limite.....	pag.337
Tab.017 Riepilogo dei parametri calcolati per il progetto.....	pag.338
Tab.018 Categorie di sottosuolo.....	pag.339
Tab.019 Categorie topografiche.....	pag.340
Tab.020 Espressioni di $S_s$ e $C_c$ .....	pag.341
Tab.021 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$ .....	pag.341
Tab.022 Riepilogo dei parametri calcolati per il progetto.....	pag.342
Tab.023 Masse di progetto sotto l'azione del sisma.....	pag.346
Tab.024 Forza orizzontale risultante, agente sull'intero edificio,	



per lo stato limite SLD.....	pag.346	Tab.046 Geometria della trave.....	pag.358
Tab.025 Forze orizzontali ai piani sotto l'azione del sisma, per lo stato limite SLD.....	pag.346	Tab.047 Carichi di progetto.....	pag.358
Tab.026 Forza orizzontale risultante, agente sull'intero edificio, per lo stato limite SLV.....	pag.347	Tab.048 Dati del profilo da sagomario.....	pag.358
Tab.027 Forze orizzontali ai piani sotto l'azione del sisma, per lo stato limite SLV....	pag.347	Tab.049 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.359
Tab.028 Estratto della Tabella 3.3.I del DM del 14/1/2008, valori dei parametri $v_{b,0}$ $a_0$ $k_0$ .....	pag.348	Tab.050 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.359
Tab.029 Estratto della Tabella 3.3.III del DM del 14/1/2008, classi di rugosità del terreno.....	pag.349	Tab.051 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.360
Tab.030 Estratto della Tab. 3.3.II della norma, parametri per la definizione del coefficiente di esposizione.....	pag.349	Tab.052 Geometria della trave.....	pag.362
Tab.031 Coefficiente di esposizione per i differenti livelli del progetto.....	pag.349	Tab.053 Carichi di progetto.....	pag.362
Tab.032 Coefficiente di forma per i diversi elementi di progetto, $c_p$ .....	pag.350	Tab.054 Dati del profilo da sagomario.....	pag.362
Tab.033 Pressione orizzontale del vento ai piani.....	pag.351	Tab.055 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.362
Tab.034 Tabella C3.3.I della Circolare n. 617, coefficiente di attrito.....	pag.351	Tab.056 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.362
Tab.035 Azione tangenziale del vento ai piani.....	pag.352	Tab.057 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.362
Tab.036 Azione tangenziale del vento ai piani.....	pag.352	Tab.058 Geometria della trave.....	pag.362
Tab.037 Coefficiente di forma per i diversi elementi di progetto, $c_p$ .....	pag.353	Tab.059 Carichi di progetto.....	pag.362
Tab.038 Azioni verticali agenti sui solai.....	pag.355	Tab.060 Dati del profilo da sagomario.....	pag.363
Tab.039 Azioni verticali ai fini della verifica SLU.....	pag.355	Tab.061 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.363
Tab.040 Coefficienti parziali per le verifiche SLU.....	pag.355	Tab.062 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.363
Tab.041 Azioni verticali agenti sui solai.....	pag.356	Tab.063 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.363
Tab.042 Azioni verticali ai fini della verifica SLU.....	pag.356	Tab.064 Geometria della trave.....	pag.363
Tab.043 Azioni verticali agenti sui solai.....	pag.357	Tab.065 Carichi di progetto.....	pag.363
Tab.044 Azioni verticali ai fini della verifica SLU.....	pag.357	Tab.066 Dati del profilo da sagomario.....	pag.363
Tab.045 Coefficienti parziali per le verifi che SLU.....	pag.357	Tab.067 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.363
		Tab.068 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.364
		Tab.069 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.364
		Tab.070 Geometria della trave.....	pag.364
		Tab.071 Carichi di progetto.....	pag.364
		Tab.072 Dati del profilo da sagomario.....	pag.364

Tab.073 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.364
Tab.074 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.364
Tab.075 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.364
Tab.076 Geometria della trave.....	pag.365
Tab.077 Carichi di progetto.....	pag.365
Tab.078 Dati del profilo da sagomario.....	pag.365
Tab.079 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.365
Tab.080 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.365
Tab.081 Riepilogo delle verifiche a SLU.....	pag.365
Tab.082 Geometria della trave.....	pag.365
Tab.083 Carichi di progetto.....	pag.365
Tab.084 Dati del profilo da sagomario.....	pag.366
Tab.085 Freccie calcolate in funzione dei carichi permanenti e variabili.....	pag.366
Tab.086 Limiti degli spostamenti verticali secondo la normativa.....	pag.366
Tab.087 Riepilogo delle verifi che a SLU.....	pag.366
Tab.088 Riepilogo dei carichi.....	pag.366
Tab.089 Coefficienti parziali.....	pag.367
Tab.090 Dati del profilo da sagomario.....	pag.367
Tab.091 Riepilogo delle verifi che degli elementi pilastro ai piani.....	pag.368
Tab.092 Riepilogo dei carichi.....	pag.369
Tab.093 Riepilogo delle verifiche degli elementi pilastro ai piani.....	pag.369
Tab.094 Caratteristiche dei bulloni come da Tabella 11.3.XII.b delle NTC2008.....	pag.369
Tab.095 Caratteristiche fisiche dei bulloni M12.....	pag.369
Tab.096 Caratteristiche geometriche della piastra di collegamento.....	pag.370
Tab.097 Caratteristiche geometriche della piastra di collegamento.....	pag.370
Tab.098 Dati del profilo da sagomario.....	pag.374
Tab.099 Dati del profilo da sagomario.....	pag.374

Tab.100 Riepilogo delle verifiche sugli elementi più sollecitati.....	pag.375
Tab.101 Dati del profilo da sagomario.....	pag.376
Tab.102 Dati del profilo da sagomario.....	pag.376
Tab.103 Riepilogo delle verifi che effettuate.....	pag.376
Tab.104 Calcolo del baricentro per i livelli 1, 2 e 3.....	pag.379
Tab.105 Calcolo del baricentro per i livelli 4 e 5.....	pag.379
Tab.106 Calcolo del baricentro delle rigidzze per i livelli 1, 2 e 3.....	pag.380
Tab.107 Calcolo del baricentro delle rigidzze per i livelli 4 e 5.....	pag.380
Tab.108 Azioni orizzontali in direzione Est-Ovest sui singoli elementi di controvento.....	pag.381
Tab.109 Spostamenti orizzontali in direzione Est-Ovest dei singoli elementi di controvento.....	pag.381

## CAPITOLO 7 ANALISI ERGOTECNICA

Tab.001 Individuazione del carico maggiore per la scelta della gru.....	pag.392
---	---------