

POLITECNICO DI MILANO – POLO REGIONALE DI LECCO
Facoltà di Ingegneria Edile - Architettura (VI Facoltà)
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile – Architettura

IN-ARCH

Progetto di riqualificazione delle Arcate di Greco

Relatore: Prof. Ing. Graziano Salvalai

Correlatore: Prof. Arch. Marco Muscogiuri

Tesi di laurea di:

Stefania Andriola matr. 717582

Francesca Ciani matr. 717584

Marta Gatti matr. 717766

Anno Accademico 2013-2014

INDICE

INDICE	I
ABSTRACT.....	V
PRIMA PARTE. LE ANALISI	1
CAPITOLO 1 - IL CONCORSO.....	3
1.1 Il bando.....	3
1.2 Analisi critica del bando	7
CAPITOLO 2 - LE ANALISI DEL SITO.....	11
2.1 Inquadramento storico.....	11
Greco: da piccolo borgo alle porte di Milano a quartiere popolare.....	11
Il naviglio di Greco: la Martesana.....	13
Dal riassetto ferroviario di Milano alla nuova tratta Centrale-Malpensa	15
2.2 Inquadramento urbanistico.....	19
Il PGT di Milano - Documento di Piano: obiettivi e strategie	19
I grandi progetti di interesse pubblico: <i>il Filo Rosso e Raggi Ciclabili e il Fiume di Milano</i>	22
2.3 Inquadramento territoriale	26
Individuazione dell'area.....	26
Analisi del contesto alla scala di quartiere	27
Analisi demografiche.....	37
Analisi dati climatici	38
CAPITOLO 3. LO STATO DI FATTO.....	43
3.1 Rilievo fotografico	43
Panoramica degli edifici e degli spazi attorno all'area di progetto	43
L'area di progetto.....	44
3.2 Rilievo metrico-materico e tecnologico	45
Le Arcate degli Anni'30.....	45
Il nuovo viadotto	45

SECONDA PARTE. IL PROGETTO ARCHITETTONICO	47
CAPITOLO 4. LA METAPROGETTAZIONE	49
4.1 Analisi FDOM	49
4.2 Sondaggio popolazione residente	51
4.3 Casi studio: buone pratiche	53
CASO STUDIO N.1: Les arches, Dubosc & Landowski, Issy Les Moulineaux, Parigi.....	53
CASO STUDIO N.2: Im Viadukt, EM2N, Zurigo	55
CASO STUDIO N.3: Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi	57
4.4 Il conceptplan e le scelte preliminari	59
Connessione tra due aree divise	59
Il campo sportivo	60
Un nuovo fronte strada	60
L'intervento sulle arcate	61
La nuova idea di parcheggio.....	61
CAPITOLO 5. IL PROGETTO ARCHITETTONICO	65
5.1 Il masterplan e l'organizzazione funzionale-spaziale	65
Nuove attività	65
Spazi pubblici	66
Viabilità e parcheggi	67
Verde e acqua.....	68
5.2. Il masterplan e le linee architettoniche generali.....	70
5.3 Il recupero delle arcate: il centro aggregativo e gli spazi commerciali	75
Scelte architettoniche e compositive.....	75
Organizzazione funzionale e spaziale del centro ricreativo	77
Organizzazione funzionale e spaziale dei moduli.....	82
Verifiche delle normative: accessibilità ed antincendio	86
Mappatura delle arcate a Milano	89
5.4 Le nuove costruzioni: il centro sportivo e il parcheggio automatizzato.....	91
Scelte architettoniche e compositive.....	91
Organizzazione funzionale e spaziale	96
Verifiche delle normative: accessibilità ed antincendio	98

TERZA PARTE. IL PROGETTO TECNOLOGICO	101
CAPITOLO 6. IL PROGETTO TECNOLOGICO	103
6.1 L'involucro edilizio.....	103
Le scelte tecnologiche	103
Pacchetti tecnologici	106
Dettagli tecnologici	112
6.2 Fasi costruttive	113
6.3 Strategie energetiche	120
Funzionamento stagione invernale	120
Funzionamento stagione estiva.....	121
Funzionamento stagioni intermedie	121
6.4 Illuminotecnica	123
Nozioni preliminari.....	123
Analisi ombreggiamento	127
Fattore di luce diurna	132
Illuminanza	133
CAPITOLO 7. LE STRUTTURE	141
7.1 Descrizione della struttura.....	141
7.2 Verifica delle fondazioni delle arcate anni '30	142
Ipotesi preliminari	142
Ipotesi di terreno non coesivo	143
Ipotesi di terreno coesivo	146
Conclusioni.....	147
7.3 Analisi dei carichi	149
Carichi permanenti	149
Carichi variabili	158
Combinazione delle azioni.....	160
7.4 Dimensionamento e verifiche strutturali	164
Travi secondarie.....	164
Travi primarie	176
Pilastro	185
Controventi	187

CAPITOLO 8. IL PROGETTO IMPIANTISTICO	191
8.1 Scelte progettuali e quadro normativo.....	191
8.2 Calcolo dei carichi termici.....	193
Fase invernale	193
Fase estiva	197
8.3 Calcolo del fabbisogno	205
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento.....	205
Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento	207
8.4 La Pompa di calore.....	210
Riscaldamento e raffrescamento	210
Produzione di acqua calda sanitaria.....	212
8.5. Unità di trattamento aria e ventilconvettori.....	215
Caso invernale	217
Caso estivo.....	220
8.6 Fotovoltaico	224
8.7 Certificazione energetica	228
8.8 Recupero delle acque meteoriche	230
BIBLIOGRAFIA	233
RIFERIMENTI NORMATIVI	235
SITOGRAFIA	236
INDICE DELLE IMMAGINI.....	237
INDICE DELLE TABELLE.....	249
RINGRAZIAMENTI	253

ABSTRACT

L'idea di sviluppare il tema del recupero delle arcate ferroviarie nell'ambito del nostro lavoro di tesi, nasce dallo studio del concorso di progettazione per l'area delle arcate presenti nel quartiere di Greco a Milano. Il bando fu indetto dalla Rete Ferroviaria Italiana nel 2006 con lo scopo di recuperare e riqualificare l'area dismessa, disegnata dalle arcate già esistenti e dal viadotto ferroviario, all'epoca in costruzione. In particolare, il bando riguardava la realizzazione delle barriere fonoassorbenti ed il recupero dei volumi sottostanti i due viadotti. Il concorso si concluse con un progetto vincitore, ma non con la sua realizzazione. Infatti, l'urgenza del collegamento, fece sì che il viadotto fu realizzato senza prendere in considerazione le idee emerse dal concorso.

Nonostante siano trascorsi otto anni dalla pubblicazione e conclusione del bando, il tema proposto risulta essere ancora attuale in quanto l'intera area presenta fattori di degrado dovuto al suo totale abbandono; nessun progetto di riuso è stato previsto per i volumi sottostanti le arcate. Infatti, la forte presenza dell'infrastruttura è di certo la caratteristica che maggiormente identifica oggi, come in passato, il quartiere di Greco, creando una profonda ferita nella morfologia dell'area e della zona di progetto. Come ricucire tale cesura? È questa una delle domande principali a cui intendiamo rispondere con questa tesi, intervenendo proprio sull'elemento delle arcate, esaltandone le potenzialità, trasformandolo in un polo attrattivo per l'intero quartiere e per la città di Milano. L'intervento di riuso dei volumi sottostanti le arcate e di riqualificazione dell'area ad esse circostante ha come obiettivo quello di ridare al quartiere la sua identità, rendendolo più vivibile, attrattivo ed efficiente. Abbiamo voluto restituire ai cittadini un'area ora abbandonata, rendendola usufruibile da tutti attraverso l'introduzione di nuove funzioni. La scelta delle funzioni, prevalentemente aggregative, deriva da una fase di analisi delle criticità dell'area, che ha coinvolto anche i cittadini residenti nel quartiere attraverso un sondaggio. L'intervento mira inoltre ad una scala più ampia, essendo l'area di studio coinvolta in alcuni dei grandi progetti previsti dal PGT per la città di Milano: i *Raggi Verdi* ed il *Fiume di Milano*.

Il lavoro di tesi è stato quindi strutturato in tre parti: la prima comprende l'analisi storica, urbanistica e dello stato di fatto; la seconda porta alla definizione di un masterplan, attraverso il passaggio intermedio del conceptplan, e alla concretizzazione architettonica del progetto; la terza ne definisce i dettagli tecnologici, strutturali ed impiantistici senza tralasciare le prestazioni energetiche.

La peculiarità del progetto sviluppato risiede senza dubbio nell'oggetto sul quale si è voluto intervenire: il recupero di un viadotto ferroviario. Una novità per noi, che ci ha permesso di mettere in campo le conoscenze acquisite in questi anni di studi e ci ha dato modo di confrontarci con una tematica attuale ancora quasi del tutto inesplorata in Italia, quella del recupero di infrastrutture interne al tessuto urbano. Un nuovo modo di ripensare le grandi infrastrutture in ambito urbano è la sfida che la città di Milano dovrebbe accogliere, così come hanno già fatto altre capitali europee, quali Parigi, Zurigo e Berlino, e che noi abbiamo voluto intraprendere in questo lavoro di tesi.

ABSTRACT

The idea of developing the theme of recovering railway arches within our thesis work, comes from the study of the design competition for the arches area in the Greco quarter in Milan. The competition announcement was issued by Rete Ferroviaria Italiana in 2006 with the aim of recovering and redeveloping the disused area characterized by the existing arches and the railway viaduct, at that time under construction. The notice was especially concerned with the implementation of sound-absorbing barriers and the recovery of the volumes below the two viaducts. The competition announcement ended with a winning project, but not with its realization. In fact, the viaduct was built without taking into consideration the ideas that emerged from the competition because of the urgent need of a connection.

Although eight years have passed since the publication and the end of the announcement, the proposed theme is still relevant as the whole area presents factors of degradation due to its total neglect and no reuse project has been planned for the volumes below the arches. The strong presence of the infrastructure is certainly the most important characteristic that identifies today, as in the past, the Greco district, creating a deep wound in the morphology of the area and in the project area as well. How is it possible to mend this caesura? This is one of the main questions to which we intend to give an answer with our thesis, working directly on the arches, highlighting their potential, turning them into an attractive hub for the entire district and for Milan too. The goal of the intervention to reuse the volumes below the arches and to redevelop the surrounding area is to give back to the neighborhood its identity and make it more livable, attractive and efficient. We wanted to return to the citizens an abandoned area, making it available to everyone through the introduction of new functions. The choice of such functions, mostly recreational, primarily comes from an analysis of the problems of the area, which has also involved the citizens of the district through a survey. The intervention also aims to a bigger scale, as the study area is involved in some of the major projects planned by the Milan PGT: Raggi Verdi and Fiumi di Milano.

Our thesis is therefore composed of three parts: the first includes the historical, urban and state of art analysis; the second leads to the definition of a masterplan, through the intermediate step of conceptplan, and to the architectural project realization; the third defines its technological and structural details together with the plants without neglecting its energy performances.

The peculiarity of the developed project is undoubtedly the object on which we worked on: the recovery of a railway viaduct. A novelty for us, which allowed us to use the know how acquired in these years of study and it gave us the opportunity to face an up to date problem almost completely unexplored in Italy, the recovery of infrastructures within a urban contest. An innovative way to redesign the great infrastructure in urban areas is the challenge that the city of Milan should accept, as other European capitals such as Paris, Zurich and Berlin have already done and that we wanted to undertake in this thesis.

LE ANALISI



CAPITOLO 1 - IL CONCORSO

Nel seguente capitolo si illustra il bando di concorso di progettazione per la riqualificazione delle Arcate di Greco, collocate a nord di Milano, più precisamente nella zona 2.

All'interno del capitolo vengono definiti i temi del concorso, le sue finalità e le aree interessate dallo stesso.

A seguire si propone la rilettura critica del bando dopo sette anni dalla sua conclusione, in particolare si sottolineano i cambiamenti e le trasformazioni avvenute nell'area.

1.1 Il bando

Il concorso di progettazione per l'area delle Arcate di Greco fu promosso da RFI (Rete Ferroviaria Italiana) nell'ambito del progetto di collegamento ferroviario della Stazione Centrale di Milano con l'Aeroporto di Malpensa, in accordo con il Comune di Milano.

L'idea del Concorso nacque dall'ambizioso progetto di individuare soluzioni originali per l'abbattimento del rumore e per il riuso degli spazi disegnati dal viadotto esistente e, contemporaneamente, si propose di ideare un progetto per il nuovo viadotto, che realizzasse una reale integrazione della ferrovia con il territorio grazie alla creazione di nuovi spazi a servizio della cittadinanza.

Come recita il Bando

"Il Concorso ha lo scopo di realizzare il migliore inserimento delle strutture esistenti e di quelle in corso di realizzazione nell'ambiente urbano, valorizzando le opportunità di recupero dei volumi sottostanti i viadotti introdotte dalla variante al PRG di Milano relativa alla zona speciale "Z19 – Greco-Conti". In particolare il progetto riguarda la realizzazione delle barriere fonoassorbenti e l'ideazione di una soluzione complessiva volta a convertire la presenza dell'infrastruttura ferroviaria da fattore di disturbo a risorsa del quartiere, coerentemente inserita nel processo di riqualificazione avviato attraverso gli strumenti della pianificazione urbanistica".¹

Il concorso, bandito il 27 febbraio del 2006 e conclusosi il 16 giugno 2006, segnò un nuovo modo di ripensare le grandi infrastrutture in ambito urbano e vide la partecipazione di 99 progettisti di cui 38 ammessi alla fase finale.

¹ Disciplinare di Gara - Concorso di progettazione Arcate di Greco

Il progetto che risultò essere il vincitore è "Mura Doppio Bivio di Turro", dello studio degli architetti Gaetano e Raffaele Selleri di Milano, il quale però non fu mai realizzato.²

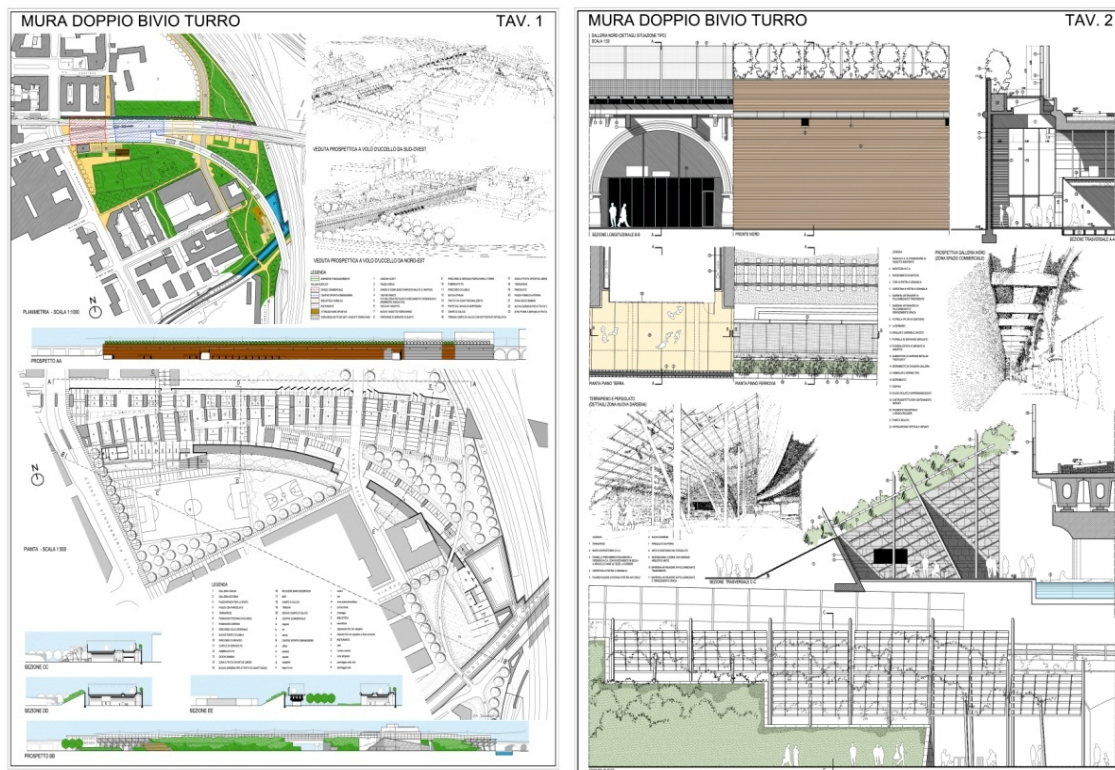


Figura 1. Tavole Progetto vincitore "Mura doppio bivio Turro". Fonte: RFI

Il nuovo viadotto ferroviario è collocato nella residua area inedita compresa fra gli isolati residenziali ed industriali allineati lungo la via Rho ed il groviglio dei rilevati ferroviari attorno al nodo di Greco.

L'apertura del cantiere del viadotto trasformò completamente le condizioni dell'area, liberandola dagli usi marginali ai quali era in precedenza destinata: depositi, orti, discariche, ma anche un campo di calcio del quale i cittadini della zona rivendicano la ricostruzione. Contemporaneamente furono allontanate le attività già insediate nelle arcate del vecchio viadotto ferroviario e smantellate in gran parte le strutture a queste connesse. La maggior parte delle arcate erano utilizzate come deposito e ospitavano attività artigianali come testimonia il rilievo fotografico effettuato dai tecnici RFI.

²Comunicato stampa del 13 luglio 2006. *Ferrovie: lo studio Selleri di Milano vincitore del concorso di progettazione per riqualificare le "Arcate di greco"*



Figura 2. I fornici prima della bonifica di RFI. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 07, Rilievo Fotografico

L'area è parte di un più vasto ambito di trasformazione urbana che va dalla sponda del Naviglio Martesana fino al nucleo originario di Greco, centro della vita e dell'attività del quartiere. Sempre a nord del viadotto si colloca la Cascina Conti, dichiarata di interesse storico - artistico (ai sensi dell'art. 136 del D.Lgs. 42/2004).

L'ambito di trasformazione studiato è stato oggetto di una Variante al vecchio PRG, in cui si individua come "Zona speciale Z19 - Greco Conti" un'area di superficie complessiva di oltre 70.000 mq, ripartita in tre distinte unità di intervento. L'unità di intervento contrassegnata col numero 1 corrisponde al sedime dei viadotti ferroviari esistenti e di quello del nuovo viadotto e coincide con l'ambito oggetto del concorso. L'unità numero 2 comprende tutte le restanti aree libere e la Cascina Conti. La numero 3 individua il condominio residenziale di via Rho 13, che verrà a trovarsi nell'immediata adiacenza del nuovo viadotto ferroviario.³

Alla zona speciale la Variante attribuiva specifiche norme di attuazione che in sintesi prevedevano:

- per l'unità 1, oggetto del concorso, la possibilità di recuperare il volume dei sottoponti, sia di quelli esistenti che di quello in corso di realizzazione. La superficie lorda di pavimento realizzabile si misura applicando un indice di utilizzazione territoriale pari a 0,65 mq/mq, ridotto del 50%. Le nuove superfici così realizzate potranno essere destinate all'insediamento delle funzioni che il PRG definisce come "compatibili" nelle zone residenziali.
- per l'unità 2 la possibilità di recuperare i volumi esistenti della Cascina Conti e di realizzare nuovi volumi, il tutto per una superficie lorda di pavimento complessivamente corrispondente all'applicazione di un indice di utilizzazione territoriale di 0,2 mq/mq. Parte della Cascina Conti, una volta restaurata, sarà destinata a funzioni pubbliche. Per il resto potranno essere insediate residenza ed altre funzioni con questa compatibili.

La Variante prevedeva inoltre la realizzazione di una strada e di una pista ciclabile che attraversassero i viadotti ferroviari in direzione nord - sud⁴.

³ Per l'individuazione degli ambiti si fa riferimento alla figura 1.3.

⁴ Bando del Concorso di progettazione Arcate di Greco: Allegato 01, Documentazione preliminare della Progettazione

Alla data di pubblicazione del bando, per la realizzazione dei nuovi volumi previsti dalla Variante, non era stato ancora approvato nessun apposito Programma Integrato di Intervento (P.I.I.). Risultava comunque consolidata la scelta di collocare i nuovi volumi nella parte settentrionale, a nord dei viadotti ferroviari, e di destinare la restante superficie a verde ed attrezzature pubbliche. Il P.I.I. , approvato nel 2008, verrà preso in esame nel seguente paragrafo.

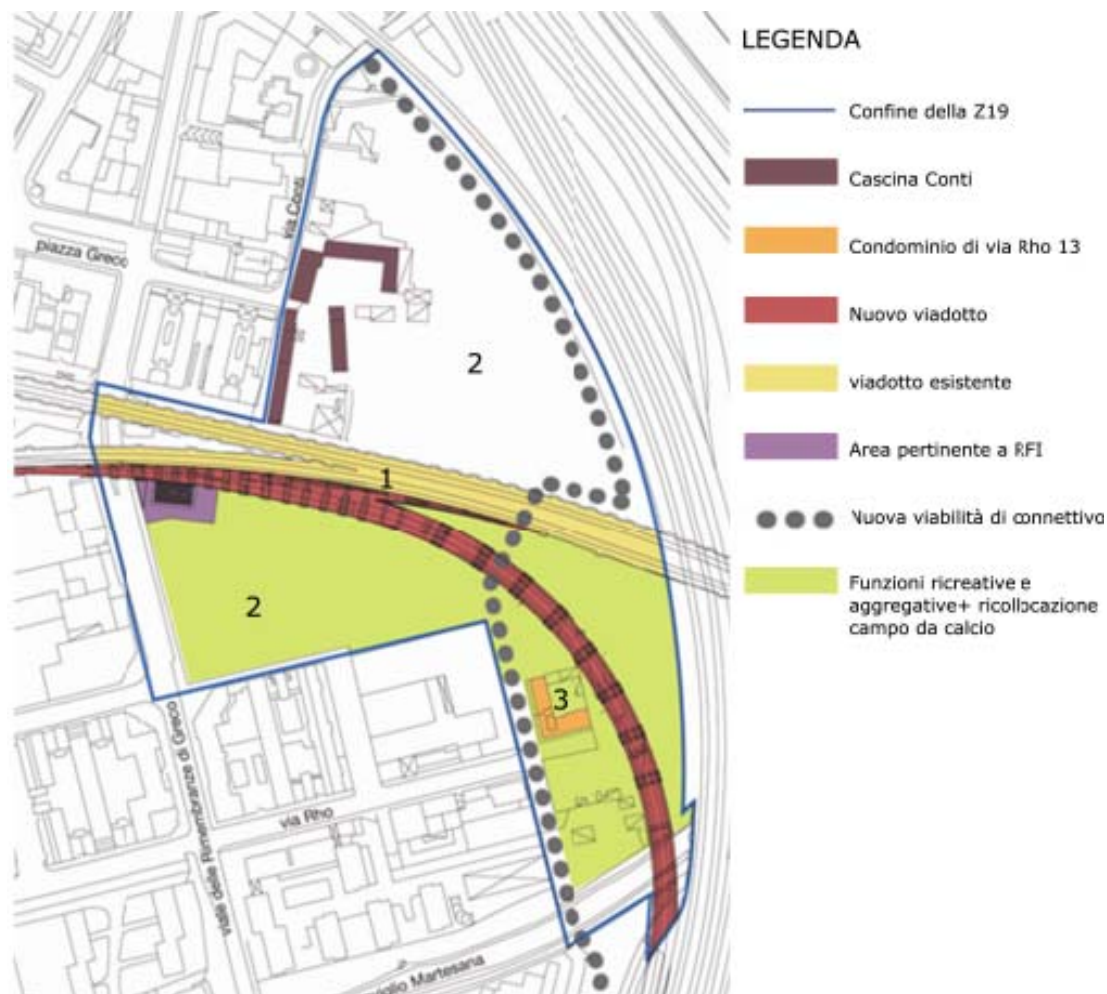


Figura 3. Variante al PRG Zona Speciale Z19 "Greco Conti". Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 01, Documentazione preliminare della Progettazione

1.2 Analisi critica del bando

La prima fase di approccio al bando di concorso si è articolata in una rilettura critica dello stesso. Si è così valutata ogni singola richiesta del bando alla luce delle trasformazioni urbanistiche avvenute nella città di Milano e in particolare nell'area di intervento.⁵

Nonostante siano trascorsi sette anni dalla pubblicazione e conclusione del bando di Concorso, il tema proposto risulta essere ancora attuale poiché poche delle idee emerse sembrano essere state prese in considerazione e nuove sfide sono comparse.

Le due principali finalità del Concorso, ovvero la progettazione di barriere fonoassorbenti e il recupero dei fornici delle vecchie arcate con l'insediamento di nuove funzioni, non hanno trovato alcuna risposta:

- il nuovo viadotto di collegamento Milano Centrale – Aeroporto di Malpensa è stato realizzato ed è funzionante dal 2010; le barriere acustiche sono state collocate solo lungo il lato sud del nuovo viadotto mentre nessun tipo di schermatura è stato previsto per il vecchio tracciato. L'urgenza di avere delle barriere acustiche in tempi brevi ha fatto sì che venissero scelte di scarsa rilevanza estetica. Si tratta infatti di semplici barriere antirumore in lamiera gialla;
- ad oggi nessun progetto di riuso è stato previsto per le storiche arcate né per i volumi sottostanti il nuovo viadotto.

L'area a nord del tracciato ferroviario, coincidente con l'unità di intervento n. 2 della Zona Speciale Z19 "Greco Conti", della dimensione complessiva di 48.087 mq è stata interessata da un P.I.I. pubblicato nell'agosto 2008 e il cui progetto è attualmente in fase di realizzazione.



Figura 4. La Cascina Conti prima dell'inizio dei lavori di recupero. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 07, Rilievo Fotografico

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo insediamento residenziale per complessivi 9.247 mq di s.l.p. (superficie lorda di pavimento), di cui il 20% in regime convenzionato ed il recupero della storica Cascina Conti in parte a funzioni private di tipo residenziale per una s.l.p. pari a 1.145 mq, ed in parte a funzioni pubbliche per la realizzazione di una residenza per studenti di circa 30 posti letto e spazi polivalenti al servizio della zona.

⁵ Si rimanda alla tavola 1.01

Il nuovo stabilimento residenziale in costruzione, Borgo Cascina Conti, sarà composto da tre corpi distinti oltre ai due della Cascina che saranno recuperati. Saranno realizzate 117 abitazioni e l'ultimazione del primo dei tre corpi è prevista a fine 2014.

Nella parte a Sud del viadotto il progetto prevede la sistemazione delle aree a verde attrezzato, la realizzazione di un centro sportivo comprensivo di campo da calcio e di una piazza pubblica.

Come stabilito dalla Variante sono in corso di realizzazione anche un tratto del nuovo asse viario Sammartini-De Marchi, dalla via Conti alla via Rho ed un tratto del Raggio Verde⁶ dalla via Conti alla via Rho; il progetto prevede inoltre la realizzazione di aree a parcheggio pubblico e la riqualificazione della via Conti.



Figura 5. Il P.I.I. Via Conti e Via Rimembranze di Greco. Render del Borgo cascina Conti e il campo sportivo. Fonte: www.comune.milano.it

⁶ Per approfondimenti sul tema si rimanda al paragrafo 2.2 del capitolo successivo

Sono di seguito riportati i dati quantitativi di progetto della P.I.I. Via Conti e Via Rimembranze di Greco⁷:

Superficie totale dell'intervento	mq	48.087
Superficie territoriale	mq	46.234
S.l.p. di nuova edificazione	mq	9.247
di cui:		
Residenza convenzionata (minimo 20% della s.l.p. di nuova edificazione)	mq	1.850
Residenza libera (massimo 80% della s.l.p. di nuova edificazione)	mq	7.397
S.l.p. residenziale oggetto di recupero edilizio	mq	1.145
Totale s.l.p.	mq	10.392
Standard dovuto		
Standard indotto dalle nuove funzioni	mq	7.397
Standard riferito al precedente azionamento VC	mq	48.087
Totale	mq	55.484
Aree a verde e a parcheggio pubblico	mq	13.720
Centro sportivo con parcheggio	mq	11.276
Piazza Cascina Conti	mq	4.383
Aree di proprietà comunale destinate a verde	mq	1.413
Area incensita	mq	111
Totale standard reperito in aree	mq	30.903
Standard qualitativo "Residenza Universitaria" (mq. equivalenti). (Il valore della struttura da computo metrico estimativo è pari a € 2.979.191,50)	mq	13.948
Standard qualitativo "Centro Sportivo" (mq. equivalenti). (Il valore della struttura da computo metrico estimativo è pari a € 627.107,19)	mq	2.936
Standard monetizzato	mq	7.697

L'analisi del bando è stata necessaria per la comprensione e per un approccio critico all'area di progetto ed ha suggerito le vie da percorrere alla luce dei cambiamenti subiti dalla stessa nel corso dei sette anni passati dalla pubblicazione del bando. In particolare il fatto che l'area a Nord del tracciato ferroviario sia stata interessata da un P.I.I. ha influenzato notevolmente le scelte progettuali e il programma funzionale, come verrà illustrato nel paragrafo 5.1.

⁷ P.I.I. via Conti e via Rimembranze di Greco, dati qualitativi di progetto. Fonte: www.comune.milano.it

CAPITOLO 2 - LE ANALISI DEL SITO

L'area di progetto è situata a nord di Milano, nel quartiere storico di Greco. Al fine di conoscere meglio il sito e sapersi dunque avvicinare all'oggetto e, più in generale, al tema proposto nel modo più completo e approfondito possibile, sono state effettuate numerose analisi di inquadramento, storico, territoriale e urbanistico.

In questo capitolo si descrivono gli studi compiuti utili nell'approccio alla progettazione. In particolare sono stati analizzati i dati climatici e demografici, le analisi alla scala urbana e alla scala di quartiere: aree verdi, viabilità, funzioni, tipologie edilizie e rilevanze architettoniche.

2.1 Inquadramento storico

Nel seguente paragrafo verranno analizzati dal punto di vista storico il borgo di Greco, il Naviglio Martesana che lo attraversa e l'evoluzione del tracciato ferroviario, che da sempre ha segnato il suo territorio.

Greco: da piccolo borgo alle porte di Milano a quartiere popolare

La storia di Greco è evidentemente legata a quella di Milano, pertanto laddove sono mancate le fonti dirette, a cui è possibile attingere solo a cominciare dal secolo XI, si è fatto riferimento a fonti indirette.⁸

Già dall'XI secolo, Greco si presenta come un piccolo centro agricolo a nord di Milano, abitato e circondato da una vasta estensione di campi che a Sud si prolungano fino ad infrangersi contro le mura della città, mentre a nord raggiungono e cingono la Bicocca.

Il nucleo originario era costituito dall'area compresa tra l'attuale via Conti, piazza Greco, via delle Rimembranze di Greco e dal tracciato ferroviario. Attorno al nucleo originario, nel corso dei secoli si costituisce un centro abitato più consistente che tra la fine del secolo XVII e il secolo XVIII vede una certa trasformazione urbanistica. La presenza di rogge, canali e l'estensione dei campi induce alcune famiglie nobili e benestanti milanesi ad acquistare fondi del contado di Greco per costruirvi case di villeggiatura. La famiglia Litta risiederà per qualche tempo nella tenuta situata in via Conti, accanto alla chiesa di San Martino, risalente al XII secolo.

⁸ Per la stesura del seguente paragrafo si è fatto riferimento ai seguenti testi:

- A.A.V.V. , *Greco: un borgo, un comune, un quartiere*, edito sotto l'egida del Comitato promotore per lo sviluppo di Greco, Milano, 1970

- A.A.V.V. , *Recupero e valorizzazione del patrimonio edilizio. Le cascine lombarde*, a cura di Stella Agostini , Osvaldo Failla , Pierpaolo Godano, F. Angeli ed, Milano, 1998

- E. Bricchetti, *Terre di confine: i borghi milanesi di Turro Gorla Precotto Greco Crescenzago*, Comune di Milano, Consiglio di Zona 2, Milano, 1994

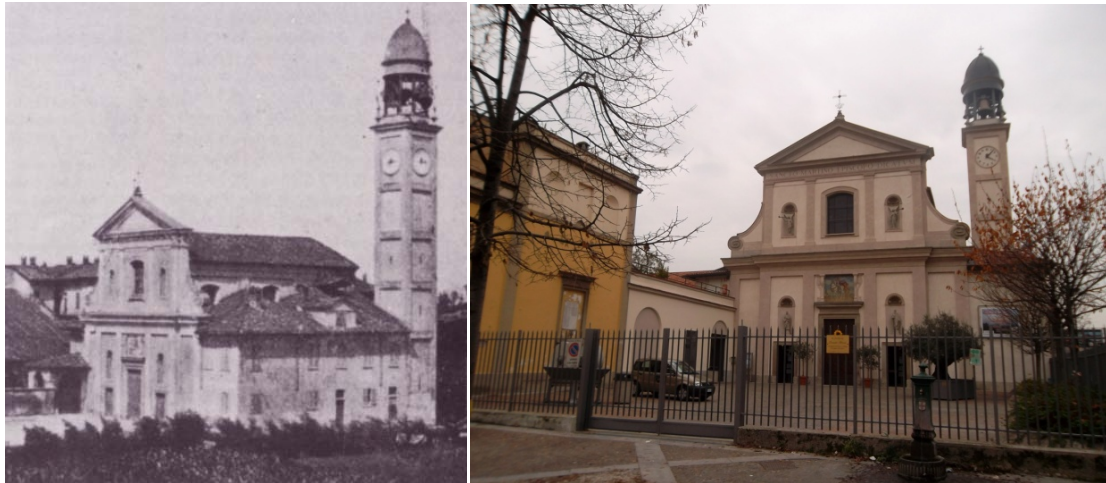


Figura 6. Veduta della chiesa di San Martino ai primi del '900. Fonte: Archivio Curia Arcivescove, Arti graf. Milanesi. Milano 1930

Figura 7. Veduta della chiesa di San Martino oggi. Fonte: foto dell'autore

La Villa Litta è stata demolita negli anni Settanta, l'unica testimonianza rimasta è una scuderia del '700, ora inglobata nell'oratorio parrocchiale.

A formare il compatto nucleo del centro di Greco era la Casa del Comune. Nel 1778 il cimitero era stato spostato più lontano dal centro, in un'area laterale all'attuale via delle Rimembranze.

Da oltre due secoli Greco era bagnata dalla Martesana, le cui acque conducevano i barconi carichi di materiale da costruzione fino in città. A Sud, passata la Cassina de' Pomm, il dislivello del terreno era superato per mezzo di una conca costruita su progetto di Leonardo.



Figura 8. Via 24 maggio, oggi via De Marchi ai primi del '900. Fonte: www.vecchiamilano.wordpress.com

Figura 9 Viale delle rimembranze ai primi del '900. Fonte: www.vecchiamilano.wordpress.com

A inizio '800 il benessere si accentua con l'infittirsi delle industrie. Nel 1840 la linea del treno Milano-Monza porta spostamenti più rapidi e, di conseguenza, numerosi lavoratori si insediano alle porte di Milano.

La seconda metà del secolo XIX vede l'inizio della trasformazione del piccolo borgo di Greco: si intensifica l'urbanizzazione; Greco si popola di nuovi quartieri ed in vari punti del suo territorio, da Segnano (frazione a Nord) a Cassina de' Pomm (a Sud), seguono nuovi caseggiati, più adatti alle nuove esigenze di vita, che man mano si allontana sempre più dai campi per entrare nelle nuove fabbriche.

Con il Regio Decreto del 30 dicembre del 1923 il Comune di Greco Milanese viene annesso alla città di Milano, mantenendo un'anima rurale accanto ai nuovi insediamenti industriali. Negli anni seguenti, Greco, come tutti i piccoli centri, un tempo circondati da prati, si è trasformato in un grosso agglomerato di abitazioni, fabbriche ed uffici.

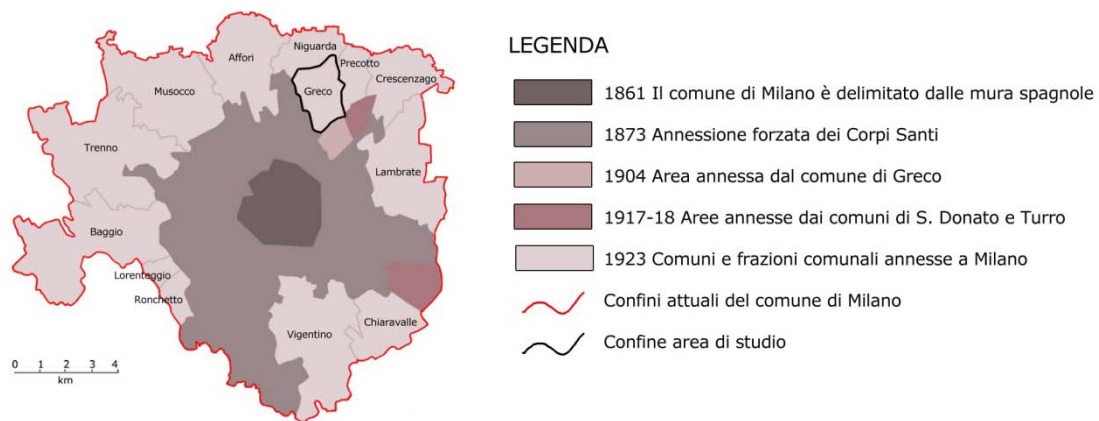


Figura 10. Ingrandimenti del Comune di Milano a partire dall'unità d'Italia, stralcio della tavola 2.01, *Inquadramento storico*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

A testimoniare la valenza storica e la vocazione agricola dell'area rimane ancora oggi la Cascina Conti, ciò che oggi rimane del borgo rurale di Greco. La parte più antica del complesso, sul lato destro rispetto all'entrata, risale al XV secolo mentre gli altri edifici sono più recenti. Nei documenti del Catasto Teresiano il nucleo è già presente e rimane pressoché invariato nelle mappe del Catasto Lombardo Veneto del 1863. Il complesso edificato di via Conti presenta un impianto tipico delle architetture rurali lombarde. In passato l'accesso era costituito da un arco in mattoni, abbattuto accidentalmente nel 1995. Gli edifici, sviluppati attorno ad un'ampia corte centrale, presentavano funzioni sia abitative che lavorative, quali fienili, stalle e magazzini per attrezzi.

Il naviglio di Greco: la Martesana

Il Naviglio della Martesana, anche noto come Naviglio Piccolo, è uno dei navigli milanesi ed è situato a sud del Canale Villoresi. La Martesana nasceva come un canale navigabile, largo dai 9 ai 18 metri, profondo da 1 a 3 metri e lungo 38,7 km (di cui alcuni interrati) che collega Milano con il fiume Adda dal quale riceve le acque nei pressi di Trezzo sull'Adda.⁹

⁹ Per la stesura del seguente paragrafo si è fatto riferimento ai seguenti testi:

- G. Beltrame T. Celona, *I Navigli Milanesi*, La Silvana ed, Milano 1982
- L. Biasi, *Il sistema dei Navigli a Milano. Funzioni Tipi Morfologia*, in Quaderni del Dipartimento di progettazione dell'architettura Politecnico di Milano, n° 6

Il naviglio, ideato nella prima metà del Quattrocento da Filippo Maria Visconti, viene costruito su incarico di Francesco Sforza dall'ingegnere ducale Bertola da Novate tra il 1457 e il 1460 per la prima parte; solo nel 1497 avvenne il collegamento con la cerchia interna della città di Milano per volere di Ludovico il Moro. Il Naviglio fu ideato con il proposito di fornire acque alla Bassa e forza motrice per le macine, i torchi dell'olio, i filatoi e le cartiere e di permettere il collegamento navigabile con la Valle dell'Adda e la Bergamasca; la sua realizzazione seguiva quella del Naviglio Grande: da qui il termine di "Naviglio Piccolo".



Figura 11. Il Ponte delle Gabelle. Fonte: foto dell'autore

Figura 12. La Cassina de' Pomm. Fonte: foto di Ivano Confortini

Prima che venisse interrato nei pressi della Cassina de' Pomm, le acque del Naviglio Martesana allora sfociavano a Milano, mescolandosi con le acque del Seveso, nel Tombone di S. Marco, dove esisteva un laghetto da cui aveva origine la fossa interna. Il bacino servì per molti anni come porto d'approdo dei barconi che scendevano verso la città carichi di merci. Il ponte di S. Marco, detto anche "ponte delle gabelle", diventò uno dei centri portuali più frequentati dai milanesi. All'epoca, i due principali porti di Milano erano la Darsena di Porta Ticinese, per i Navigli ad ovest della metropoli, e il laghetto di San Marco per il Naviglio della Martesana, che da un lato si diramava anche lungo via Pontaccio, per finire al fossato del Castello Sforzesco.

Le acque del Naviglio non venivano usate solo per il trasporto delle merci, ma svolgono anche una funzione agricola, per l'irrigazione dei campi e per procurare forza motrice ai mulini. Inoltre, nel 1800 prende avvio anche un regolare trasporto di passeggeri, mediante le barche - corriere. Nella seconda metà del secolo il sistema dei trasporti fluviali decade sia per la lentezza dei viaggi, sia per la concorrenza delle ferrovie e delle linee tranviarie che soppiantano la navigazione fluviale interna ed esterna alla città. Alla fine dell'Ottocento entra in crisi anche la fossa interna, perché antigienica e di ostacolo al traffico.

Durante gli anni '60 del Novecento, il Naviglio della Martesana, che prima scorreva a cielo aperto lungo via Melchiorre Gioia, fu declassato da via di trasporto a canale

- E. Brichetti, Martesana: *Storia, iconografia, percorsi tematici del naviglio piccolo*, Comune di Milano, Consiglio di Zona 2, Milano, 1984

irriguo e coperto sino a Cassina de' Pomm. Da quel punto svolta a destra e scorre quindi verso Greco, scavalcato dai binari che entrano in Stazione Centrale.

Fu negli anni '80 che si affermò il concetto del bene ambientale da salvaguardare e da rivalutare. Iniziò il comune di Milano, con la radicale ripulitura delle sponde e l'apertura di una pista ciclo-pedonale da Cassina de' Pomm fino a Crescenzago, passando per il Parco della Martesana a Gorla. Da allora si è visto un continuo fiorire di iniziative: i comuni rivieraschi hanno provveduto a sistemare le sponde e ad asfaltare il loro tratto di alzaia chiudendolo al traffico motorizzato e hanno creato spazi per il tempo libero e l'incontro. Dal 2009 si va in bicicletta da Milano a Gropello, si può proseguire fino a Trezzo e lungo il naviglio di Paderno su pista sterrata e proseguire sino a Lecco.



Figura 13. La pista ciclo-pedonale lungo la Martesana vista dall'area di progetto e Vista della pista ciclo-pedonale da via delle Rimembranze di Greco. Fonte: foto dell'autore

Dal riassetto ferroviario di Milano alla nuova tratta Centrale-Malpensa

Il 10 luglio 1905, con la revoca delle concessioni ferroviarie a tutte le società private e l'assunzione da parte dello Stato dell'esercizio della rete ferroviaria nazionale, nascono le Ferrovie dello Stato.

Questo evento semplifica la questione del riordino ferroviario milanese che viene realizzato sulla base dei pareri di una commissione, istituita dalla giunta comunale, con l'incarico di studiare il migliore assetto da dare ai servizi ferroviari della città. Da questa commissione provengono le decisioni di abbandonare l'esistente stazione centrale con la costruzione di una nuova grande stazione di testa, a nord della precedente, nella zona del Trotter, e l'abbandono dello scalo di Porta Garibaldi con la costruzione di un nuovo scalo, sempre di testa, nell'area a nord del Cimitero Monumentale, vengono invece conservate le stazioni di Porta Ticinese e lo scalo per le merci a piccola velocità di Porta Romana.



Figura 14. Piano di riordino delle ferrovie di Milano 1906. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 3.6, Cartografia Storica

Inoltre, per quanto riguarda le linee di raccordo, si suggeriva l'abbandono dei collegamenti della Stazione Centrale con Porta Garibaldi e con Porta Sempione, e di costruire le linee di raccordo degli impianti milanesi in modo tale da consentire l'espansione edilizia secondo il piano regolatore della città, senza ostacolare la viabilità.

Le Ferrovie dello Stato realizzano subito un progetto destinato a trasformare profondamente l'assetto ferroviario della città e di tutto il territorio circostante. In particolare per quanto riguardava la progettazione della nuova Stazione Centrale, la direzione delle ferrovie era consapevole che per una grande città come Milano per la nuova stazione c'era bisogno di un fabbricato che oltre ad adempiere tutte le funzioni ad esso assegnate avesse un aspetto degno della sua importanza.

Per questo nel dicembre 1906 viene bandito un concorso per il progetto architettonico della nuova Stazione Centrale, cui fa seguito nel 1912 un secondo concorso per il fabbricato viaggiatori della nuova stazione, vinto dal progetto dell'architetto Ulisse Stacchini.

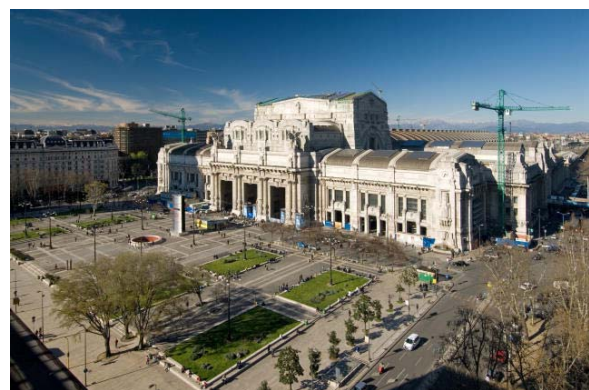


Figura 15. La Stazione Centrale nel 1929. Fonte: www.fsnews.it

Figura 16. La Stazione Centrale oggi. Fonte: Foto di Stefano Gusmeroli.

Oltre alla Centrale, il piano di riassetto prevedeva un ampliamento dello scalo merci di via Farini e un nuovo grande scalo di smistamento merci sarebbe sorto oltre Lambrate, accanto alla linea di Venezia. Un ulteriore nuovo scalo merci a Porta Vittoria sarebbe stato destinato esclusivamente al traffico ortofrutticolo, per alimentare l'adiacente mercato. Infine dovevano essere potenziate le stazioni di Rogoredo, sulla linea per Bologna e Genova, e di San Cristoforo, sulla linea di Vigevano.

All'approvazione del progetto con Decreto Reale nel 1906 seguì l'inizio i lavori con le opere per il collegamento della stazione di Greco con la nuova Centrale, necessarie per il transito dei materiali terrosi provenienti da cave situate a nord, a Seregno e Monza.

Con la Prima Guerra Mondiale i lavori rallentano fino ad arrestarsi totalmente, sia a causa della requisizione degli impianti da parte dell'esercito sia per l'esaurirsi delle disponibilità finanziarie. Solo nel 1925 si ha una ripresa dei lavori di sistemazione ferroviaria di Milano.

La nuova stazione Centrale entra in servizio nel 1931 e la città si trova avvolta dalla nuova cerchia delle infrastrutture ferroviarie, che costituiscono un confine aperto ma comunque dotato di un numero limitato di passaggi obbligati, che soprattutto nel secondo dopoguerra, con l'espansione della città verso l'esterno, condizionano il traffico e l'interscambio fra città storica e periferia.

La vecchia stazione centrale viene totalmente demolita nel 1932, insieme con i raccordi, i rilevati ed il viadotto delle linee che andavano ad est e a sud.

Con l'entrata in servizio della nuova Centrale l'assetto ferroviario di Milano assume una struttura non troppo diversa da quella attuale. Negli anni successivi, sul prolungamento dell'asse della vecchia stazione rimangono attivi, verso nord-ovest, i binari delle linee locali per Novara, Gallarate e Varese, che vanno a costituire la modesta stazione di Porta Nuova, o delle Varesine, rimasta in funzione per altri trent'anni, fino all'entrata in servizio, nel 1963 della nuova stazione di Porta Garibaldi. Questa stazione, realizzata arretrando di circa 800 metri il precedente fronte delle Varesine, viene ampliata nel 1966 con l'attivazione di un tratto sotterraneo, la "Galleria Garibaldi", lunga circa 2 km, che spunta a nord di piazza Carbonari, al bivio di Mirabello, dove i binari si diramano verso Greco e verso Lambrate.

Oggi, con la realizzazione della nuova bretella di Greco, si consente il collegamento tra i binari provenienti dalla Stazione Centrale e il tratto che porta verso il bivio Mirabello e quindi la Stazione di Porta Garibaldi; da lì, seguendo il percorso del Passante Ferroviario, i treni potranno arrivare fino a Bovisa, Saronno, Malpensa.¹⁰

¹⁰ Per la stesura del seguente paragrafo si è fatto riferimento ai seguenti testi:

- G. C. Bascapé, P. Mezzanotte, *Milano nell'arte e nella storia*, a cura di P. Mezzanotte, Carlo Bestretti ed, Milano - Roma 1948
- C. Osnago, *Ferrovie e stazioni*, in AA.VV, *Milano Tecnica*, dal 1859 al 1884, Hoepli, Milano, 1885, Ristampa Edizioni L'Archivolta, Milano, 1988

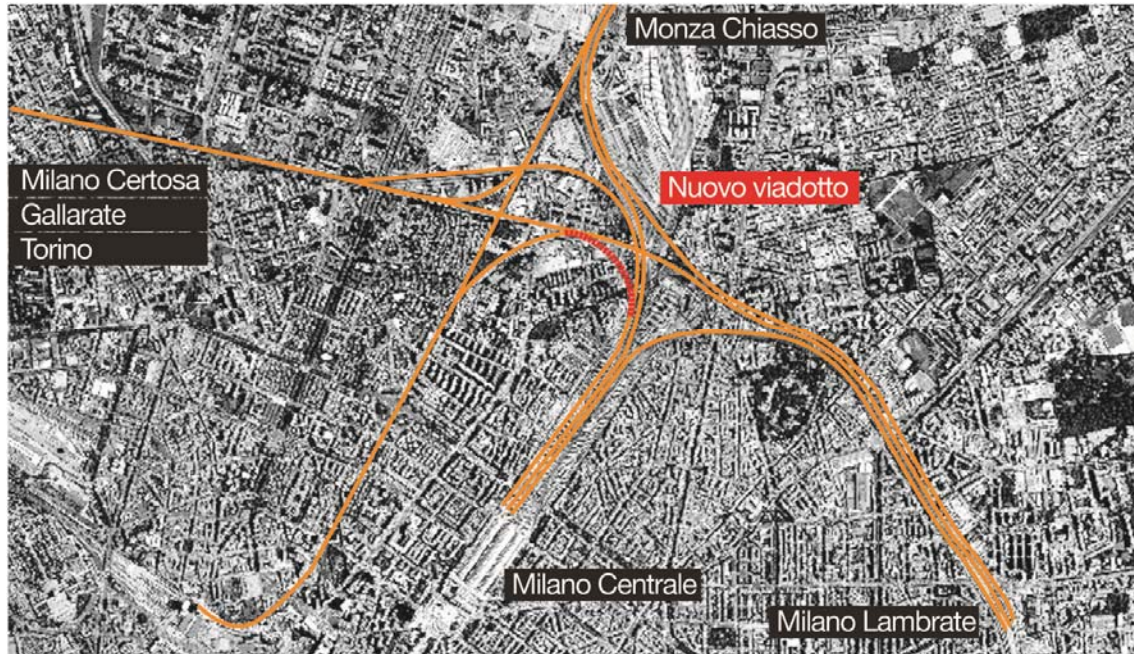


Figura 17. Inquadramento urbano dell'intervento, la rete ferroviaria in ambito urbano.
Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 06, Elaborati grafici

- E. Bertarelli A. Monti, *Tre secoli di vita milanese 1630 - 1875*, Hoepli ed, Milano, 1927

2.2 Inquadramento urbanistico

La progettazione non poteva prescindere dallo studio e dall'analisi degli strumenti urbanistici. Nel seguente paragrafo verrà brevemente preso in esame il Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) di Milano, in particolare il suo Documento di Piano. All'analisi dei suoi obiettivi e strategie seguirà quella dei progetti che interessano l'area di studio, ovvero quello del *Filo Rosso e i Raggi Ciclabili* e del *Canale di Milano*.

Il PGT di Milano - Documento di Piano: obiettivi e strategie

Verranno brevemente analizzati i contenuti del documento che si appresta a condizionare la pianificazione della città milanese dei prossimi anni. Tale strumento, il P.G.T., approvato nel luglio 2010 dall'Amministrazione comunale (sul termine del mandato della giunta Moratti), è stato introdotto nella prassi urbanistica lombarda dalla Legge Regionale 12 del 2005.¹¹

Il nuovo piano comunale ha come obiettivo quello di definire l'assetto dell'intero territorio comunale avvalendosi di tre distinti atti: il Documento di Piano, il Piano dei Servizi e il Piano delle Regole.

Il Documento di Piano, che ha validità quinquennale, ha il compito di fornire un quadro generale della programmazione urbanistica sulla base anche della partecipazione attiva della cittadinanza. Il DdP, che ha inoltre il fine di definire e pianificare lo sviluppo della popolazione residente, stabilisce gli obiettivi di crescita, miglioramento e conservazione della politica territoriale e in genere le strategie del PGT. Determina le politiche inerenti a mobilità, residenza e attività. Infine individua e definisce le caratteristiche degli ambiti di trasformazione del territorio comunale e stabilisce i criteri di compensazione, perequazione e incentivazione.

Il Piano dei Servizi serve ad assicurare che la dotazione di aree per attrezzature pubbliche (o di interesse pubblico e generale), comprese quelle per l'edilizia residenziale pubblica, il verde e la viabilità, sia soddisfacente. Compito del PdS è infatti quello di valutare i servizi esistenti in relazione alla popolazione e di prevederne l'eventuale sviluppo ed integrazione stimandone i costi e prefigurando le modalità operative. Il Piano dei Servizi contiene previsioni prescrittive e vincolanti, ha validità illimitata ed è sempre modificabile.

Il Piano delle Regole delimita gli ambiti del tessuto urbano consolidato e al loro interno identifica i nuclei di antica formazione e i beni ambientali e di interesse storico, artistico o monumentale. Fornisce le prescrizioni per gli interventi integrativi o sostitutivi. Come il PdS, anche il PdR è sempre modificabile ed ha validità illimitata; le sue indicazioni hanno carattere vincolante e producono effetti diretti sul regime dei suoli.

Si prende ora in esame il Documento di Piano del PGT di Milano. Esso ha un carattere "introduttivo" in quanto assolve alla funzione di stabilire quali siano le linee guida della progettazione comunale condivise anche dal Piano delle Regole e dal Piano dei Servizi.

¹¹ Per la stesura di questo paragrafo si è fatto riferimento alla LR 12/2005 (articoli 8,9 e 10) e al PGT di Milano, in particolare al suo Documento di Piano

La relazione del Documento di Piano si apre con l'enunciazione di alcuni concetti teorici evinti da analisi alternative della città che dovrebbero fare da filo conduttore agli indirizzi progettuali legati alle previsioni del piano. Queste analisi ed i ragionamenti che da esse scaturiscono contribuiscono a delineare le politiche strategiche del PGT per pianificare una città sostenibile e di qualità, ovvero: riduzione del consumo del suolo, aumento della densità e miglioramento della dotazione di servizi.

A supporto delle tre politiche l'Amministrazione ha elencato quindici punti programmatici divisi in tre categorie: la città attrattiva, la città vivibile e la città efficiente. Questi punti costituiscono quella che viene considerata la base delle strategie progettuali del PGT.

Nell'espressione "città attrattiva" si riuniscono le strategie che hanno il fine di riequilibrare il rapporto tra centro e periferia intervenendo sulla mobilità, facendo dialogare sviluppo urbano e infrastrutture, promuovendo la realizzazione di social housing, incentivando la presenza di lavoratori e creativi e infine valorizzando le identità di quartiere.

Al fine di ottenere una città vivibile gli obiettivi riguardano sostanzialmente temi ecologici e ambientali quali i collegamenti tra i diversi sistemi ambientali della città e l'uso efficiente degli ambiti agricoli, ma anche il recupero delle aree contaminate o dismesse, la valorizzazione dei corsi d'acqua e l'aggiornamento delle politiche volte al risparmio energetico.

Per ciò che concerne la sfera dell'efficienza gli obiettivi strategici riguardano maggiormente la qualità dei servizi che dovranno possibilmente essere adattabili al mutamento delle esigenze e ubicati in strutture sottoposte a regolari processi di manutenzione, ma anche la permeabilità del verde a scala locale, traguardi che secondo l'Amministrazione possono essere raggiunti grazie al ricorso al principio di sussidiarietà.

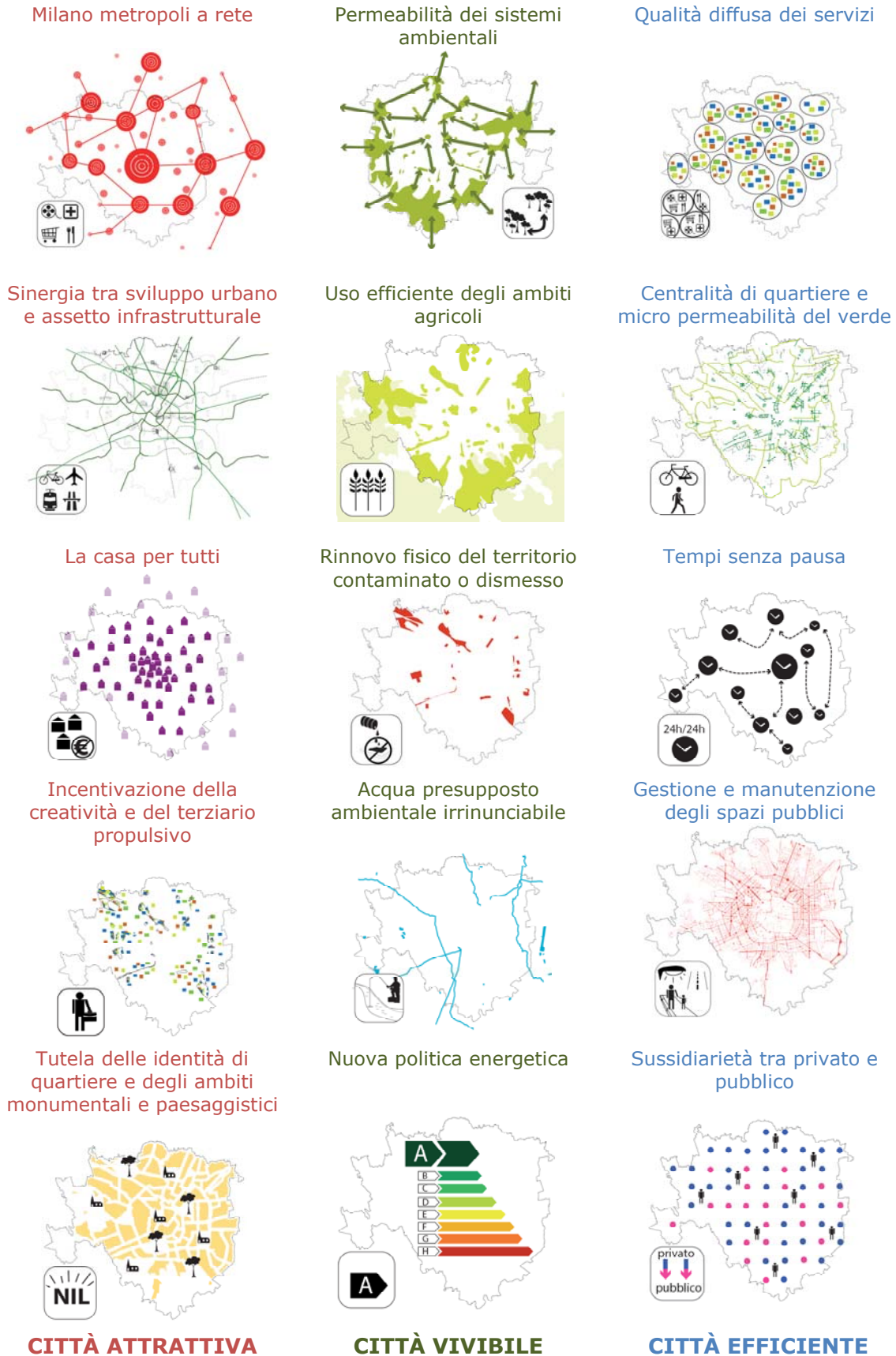


Figura 18. I 15 obiettivi strategici. Fonte: rielaborazione dell'autore a partire dal DdP

I grandi progetti di interesse pubblico: il Filo Rosso e Raggi Ciclabili e il Fiume di Milano

Dopo aver illustrato le strategie progettuali individuate a livello teorico nel DdP, vengono presentate le linee guida per la progettazione della città di Milano. Tali indirizzi progettuali mirano a strutturare la città a partire dagli spazi pubblici e a ristabilire un equilibrio tra le parti della città individuando molteplici centri tenuti insieme da un sistema reticolare.

Vengono individuate due diverse strategie, alla grande e alla piccola scala. Le strategie alla grande scala sono volte sostanzialmente alla connessione delle varie parti della città pubblica, specialmente per ciò che riguarda il verde e le aree in trasformazione attraverso la creazione e la valorizzazione di Epicentri, Raggi verdi e Parchi Periurbani. Per quanto riguarda la piccola scala si opera ad un livello più minuto, quello dei nuclei di identità locale intervenendo in particolare sul Verde di Quartiere, sulle Centralità Locali e sulla progettazione di Varchi.



Figura 19. Strategie alla grande scala: Epicentri, Parchi Periurbani e Raggi Verdi. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag. 114-115

L'area di progetto delle Arcate di greco rientra in una delle tre strategie alla grande scala, infatti è attraversata da uno degli otto Raggi Verdi individuati dal DdP.

I Raggi Verdi sono percorsi lineari, prevalentemente alberati. Percorsi radiali che dalle "mura spagnole", lungo direttrici radiali, mettono in connessione il nucleo antico della città di Milano con la struttura a rete degli Epicentri e con i Parchi di Cintura intorno alla città.¹²

Questi percorsi servono a mettere in connessione il nucleo antico della città con la struttura a rete degli Epicentri e i Parchi Periurbani. Questi nuovi collegamenti dovranno garantire la permeabilità e la messa a sistema degli spazi aperti esistenti e saranno di supporto al potenziamento della rete ciclabile. È prevista la realizzazione di otto raggi verdi e di due collegamenti circolari (Cerchia dei Bastioni e Filo Rosso) di lunghezza oscillante tra i 7 e i 12 km; ogni raggio parte dal centro della città, attraversa gli Epicentri e arriva ai parchi urbani di cintura.

Il nuovo progetto dei Raggi Verdi diventa un'occasione fondamentale per la costruzione di una nuova immagine della città, ripensata nella dimensione fisica dello spazio pubblico.

¹² Definizione di Raggi Verdi data nel DdP del PGT di Milano, pag 122.

Come già detto, l'area di progetto è attraversata da uno dei Raggi Verdi, il numero uno. Esso, come si vede in figura 21, parte da Porta Nuova fino ad arrivare in Bicocca, passando per il quartiere di Greco dove avviene l'incontro con la pista ciclo-pedonale della Martesana.¹³



Figura 20. Schema generale del progetto dei Raggi Verdi. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 124

Figura 21. Il Raggio Verde 1. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag. 125

Il Documento di Piano individua inoltre quindici grandi progetti di trasformazione di Milano, quelli cioè che vanno a costituire la struttura della città pubblica alla base del futuro sviluppo della città. A questi progetti il piano affida la qualità futura del vivere a Milano. Si passa quindi da principi astratti di natura prevalentemente urbanistica (Epicentri, Raggi Verdi, Parchi Periurbani) a precisi temi progettuali a questi sottesi.

Due dei quindici grandi progetti sono strettamente collegati all'area oggetto di studio: Il Filo Rosso e i Raggi Ciclabili e Il Fiume di Milano.

Il primo grande progetto, Il Filo Rosso e i Raggi Ciclabili, riguarda l'area oggetto di studio, in quanto questa, come si è già detto, è attraversata da uno dei Raggi Verdi.

Il Filo Rosso è un percorso ciclabile circolare di 72 km lineari, che insieme ai più di 150 km che attraverseranno Raggi Verdi ed Epicentri, disegna la nuova rete continua di percorsi ciclabili della città di Milano. Come visto precedentemente, il fine è quello di mettere a sistema tutti i *green fields* di Milano (parchi di cintura, suoli agricoli, rive fluviali, etc.) sia tra di loro, attraverso questo percorso circolare, sia alla cerchia dei bastioni, attraverso Epicentri e Raggi Verdi.

¹³ Si rimanda alla tavola 2.03

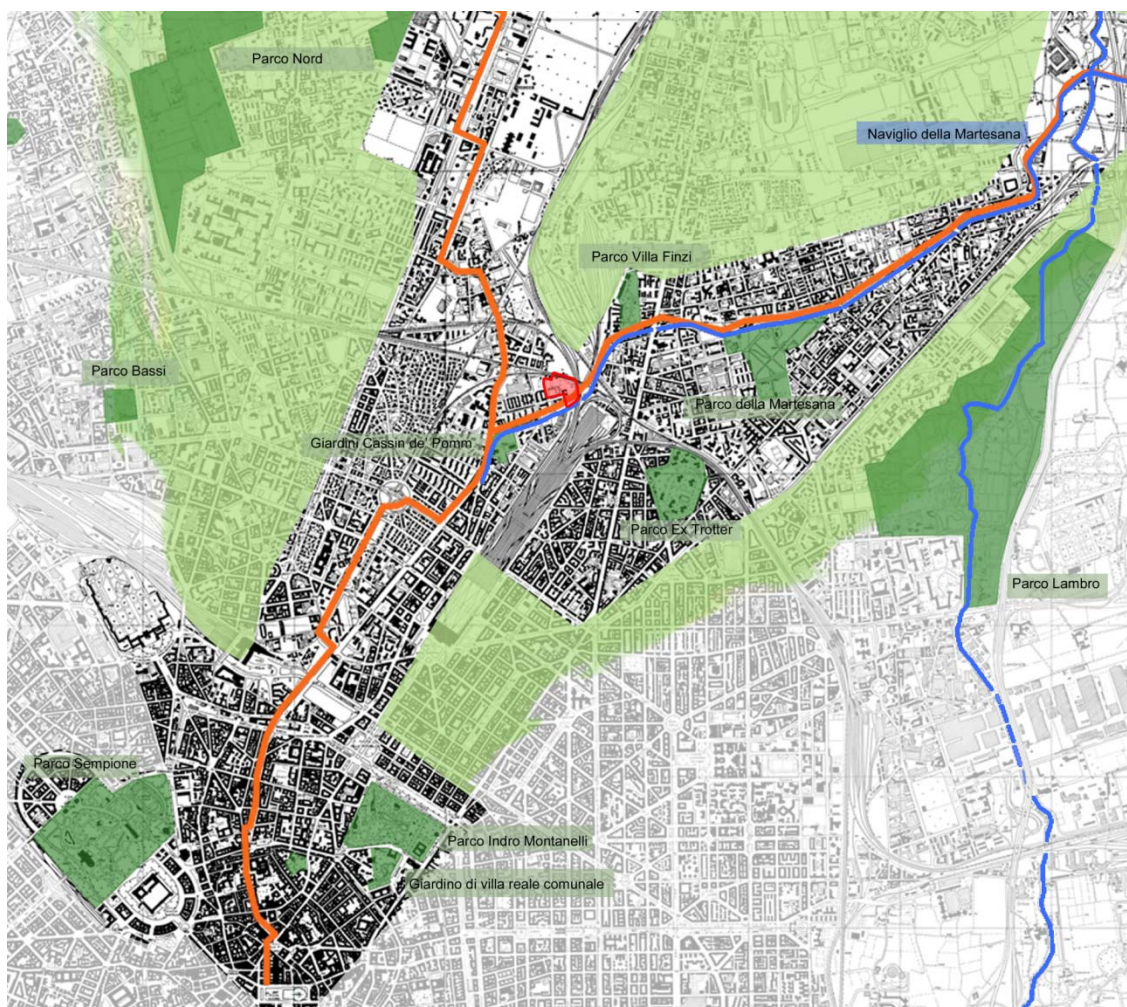


Figura 22. Stralcio della tavola 2.03, *Il Raggio Verde n.1*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Il secondo grande progetto è quello del *Fiume di Milano*, il cui fine è valorizzare complessivamente il sistema delle acque di Milano collegando la Darsena e l'area Melchiorre Gioia a Monluè. Nello specifico è prevista la valorizzazione del Naviglio Grande e della Martesana, che attraversa l'area di progetto, in modo da andare a formare una sorta di lungo fiume interrotto dal nucleo antico delle mura.¹⁴

Nel DdP si legge:

“L’idea consiste nel pensare i differenti segmenti d’acqua (esistenti e di futura realizzazione) come un’unità ambientale in grado di caratterizzare e qualificare le parti di città che attraversa, così come solitamente accade alle città attraversate da importanti corsi d’acqua. Dal punto di vista del programma, il lungo Fiume potrebbe arricchirsi da percorsi ciclabili e diventare anche, per alcune tragitti, un’infrastruttura per battelli turistici.”¹⁵

¹⁴ Si rimanda alla tavola 2.02

¹⁵ Dal DdP, cap. 4: I grandi progetti di Interesse Pubblico, pag.311



Figura 23. Il *Filo Rosso* e i *Raggi Ciclabili* e il *Fiume di Milano*. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 236 e 306

2.3 Inquadramento territoriale

In questo paragrafo vengono illustrate diverse analisi svolte sul territorio di Greco a scala di quartiere riguardo gli aspetti più rilevanti della zona con lo scopo di conoscere approfonditamente e l'area in cui di andrà ad inserire l'intervento. Un ulteriore approfondimento si è rivolto alle analisi climatiche valutate sull'area di Milano.

Individuazione dell'area

L'area d'intervento, come si è detto, è situata all'interno del quartiere di Greco, a nord-est di Milano, più precisamente in zona 2.

La vicinanza alla Stazione Centrale (a sud) ed a quella di Greco Pirelli (a nord), fa sì che ci si trovi in un'area densamente caratterizzata da tracciati ferroviari a terra ed in quota.

Viale Fulvio Testi, via Melchiorre Gioia e viale Monza sono le principali strade di collegamento dell'area con il centro città o con i comuni limitrofi a nord, Cinisello Balsamo, Sesto San Giovanni e Cologno Nord.

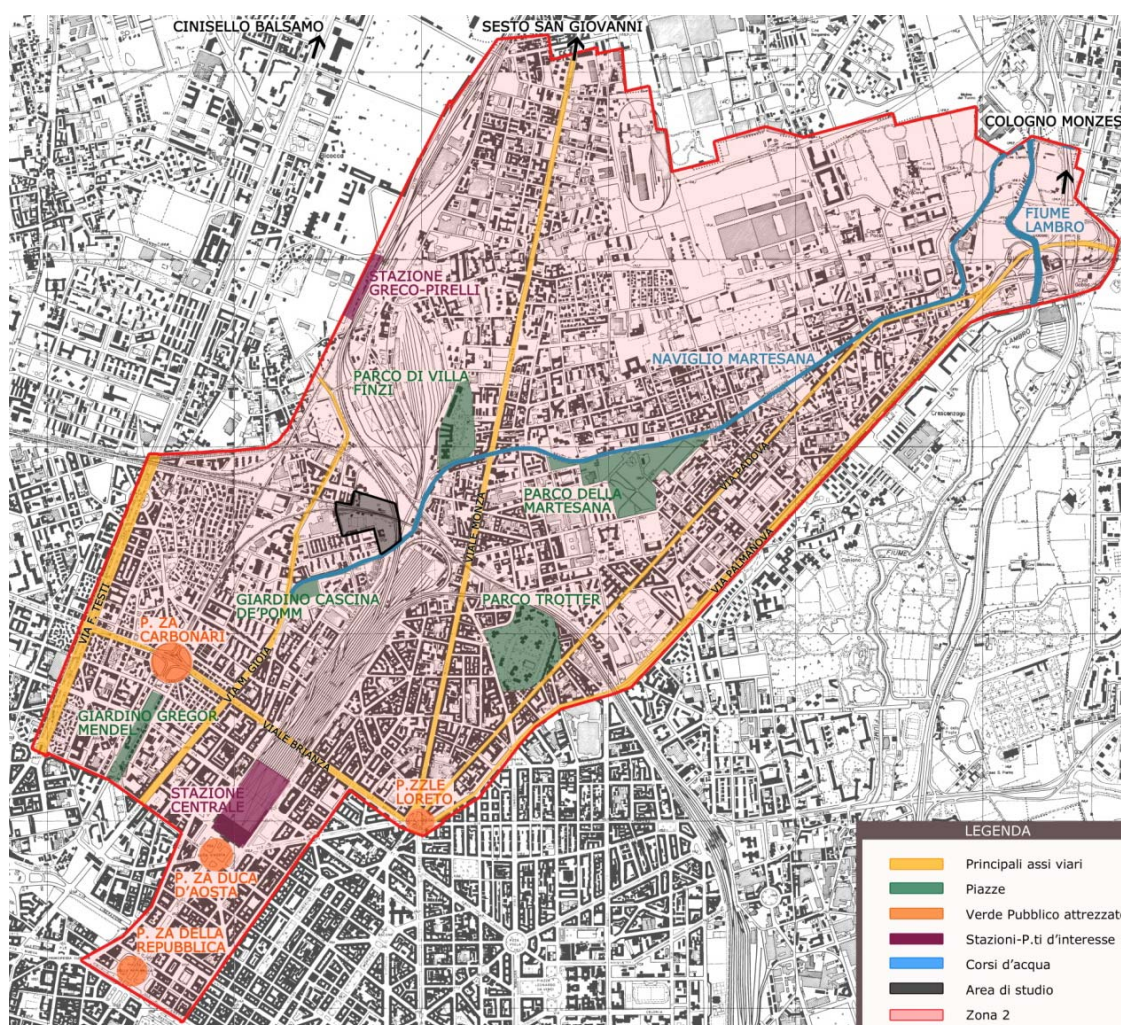


Figura 24. Stralcio della tavola 2.04 *Individuazione dell'area*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Diversi parchi urbani quali il parco di Villa Finzi, il giardino di Cassina de' Pomm, il parco Trotter e il parco della Martesana contornano l'area di progetto che è una zona di vuoto urbano costeggiata a sud dal naviglio della Martesana.

Più prossimi all'area, si trovano gli edifici ancora rimasti dell'antico borgo di Greco, quali la Cascina Conti e la Chiesa di S. Martino e gli edifici residenziali costruiti a seguito dello sviluppo industriale.

Analisi del contesto alla scala di quartiere

Verranno di seguito riportate le analisi condotte alla scala di quartiere riguardanti gli aspetti che più caratterizzano e definiscono il quartiere di Greco. Le analisi svolte hanno interessato le aree verdi, la viabilità, le destinazioni d'uso e le funzioni degli edifici, i pieni ed i vuoti urbani, le tipologie edilizie, le altezze degli edifici ed il tessuto urbano, le soglie storiche costruttive e le rilevanze architettoniche.

Analisi delle aree verdi.

La presenza di aree verdi in una città altamente edificata come Milano risulta di rilevante interesse.

È stata quindi fatta un'analisi delle aree verdi presenti nella città di Milano e nel quartiere di Greco, dove è situato l'oggetto di studio. In particolare si sono potute distinguere quattro differenti tipologie di verde a seconda del loro utilizzo: verde privato, verde pubblico, orti coltivati e terreno incolto.

Attraverso un riscontro grafico si è rilevato che la tipologia di verde maggiormente presente è quella privata. Infatti molte residenze del quartiere di Greco comprendono giardini condominiali con alberi visibili dalle vie circostanti.

Per quanto riguarda il verde pubblico, due sono i parchi individuati nel quartiere. Il primo, a nord-est rispetto all'area di progetto, è il parco di villa Finzi con ingresso in via Sant'Elembardo, una traversa di Viale Monza. E' uno dei parchi più antichi della città (1829) ed occupa una superficie di 51.000 mq.

Il secondo, a sud-ovest dell'area di progetto, è il giardino della Cassina de' Pomm, costeggiato dalla Martesana e quindi da via Tirano, parallela per un tratto a via Melchiorre Gioia. Sicuramente di meno importanza storica rispetto al primo, costituisce comunque una zona di verde urbano usufruibile dalla cittadinanza.

Un'altra tipologia di verde presente è quella rappresentata dagli orti. Essi sono nati dal riutilizzo di terreni di risulta presenti nella città. Soprattutto a Milano, dove il costruito influisce in maniera preponderante rispetto agli spazi verdi, si è cercato di usufruire attivamente di alcune zone altrimenti in disuso, solitamente in quanto zone di ritaglio urbano e quindi poco sfruttabili.

Si notano infatti due zone caratterizzate dalla presenza di orti urbani: una, più piccola, che si sviluppa lungo il corso della Martesana a sud dell'area di progetto, ed un'altra, situata a nord-ovest dell'area, di più ampie dimensioni.

Essendo zone non valorizzate dalla città, costituiscono aree di degrado visivo.

Infine, considerando le aree incolte, si può notare che l'area di progetto costituisce una grande zona all'interno del contesto urbano non sfruttata. Risulta quindi opportuno intervenire in quest'area in modo da poterla restituire alla cittadinanza.¹⁶



Figura 25. Stralcio della tavola 2.05, *Analisi aree verdi*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Analisi della viabilità.

L'area in analisi si colloca in una zona ricca di infrastrutture. Per una migliore comprensione, sono stati graficamente distinti i diversi mezzi di viabilità presenti nell'area: rete ferroviaria, strade locali, strade inter quartiere e piste ciclabili. Sono state evidenziate anche le strade e le piste ciclabili in progetto, nonché le fermate dell'autobus e della metropolitana presenti nell'area oggetto di studio.

Osservando l'analisi grafica si riscontra subito una presenza massiccia delle linee ferroviarie. La poca distanza dell'area di progetto dalla Stazione Centrale di Milano (2 km) comporta che l'area sia delimitata ad est da delle aree di deposito e stazionamento dei treni, nonché da diverse linee ferroviarie, che seguono la direttrice Monza - Chiasso e che risalgono agli anni '30. Invece, all'interno dell'area, sono due le linee ferroviarie che attraversano la zona, una di più antica costruzione con direzione Milano Certosa - Torino, l'altra, costruita nel 2008, che collega Milano con l'aeroporto di Malpensa.

La via d'accesso più rilevante per quanto riguarda il flusso dei veicoli è la via Melchiorre Gioia che prosegue diventando via De Marchi. Percorre longitudinalmente il quartiere assecondando la viabilità dai Bastioni di Porta Nuova fino alla zona della Bicocca e viceversa.

¹⁶ Si rimanda alla tavola 2.05

La via che costeggia l'area di studio è via Rimembranze di Greco, che attraversa anche piazza Greco.

L'unica pista ciclo-pedonale presente in zona è quella della Martesana. Questa pista ciclabile, grazie al progetto proposto nel raggio verde 1, sta per essere integrata da un nuovo tratto che da Porta Nuova arriva fino alla Bicocca, incontrandola in via Melchiorre Gioia (all'altezza della Cassina de' Pomm).

Il quartiere di Greco è attraversato da diversi autobus di linea, in particolare l'87 (Centrale FS - Villa San Giovanni M1) ed il 43 (Senigallia - Quartiere Bovisasca) che costeggiano l'area di studio a ovest percorrendo via Rimembranze. L'autobus 81 (Lambrate FS - Sesto Marelli M1) percorre invece via Melchiorre Gioia.

Per quanto riguarda le fermate della metropolitana a scala di quartiere, si trova solo quella di Turro, sulla linea M1.¹⁷

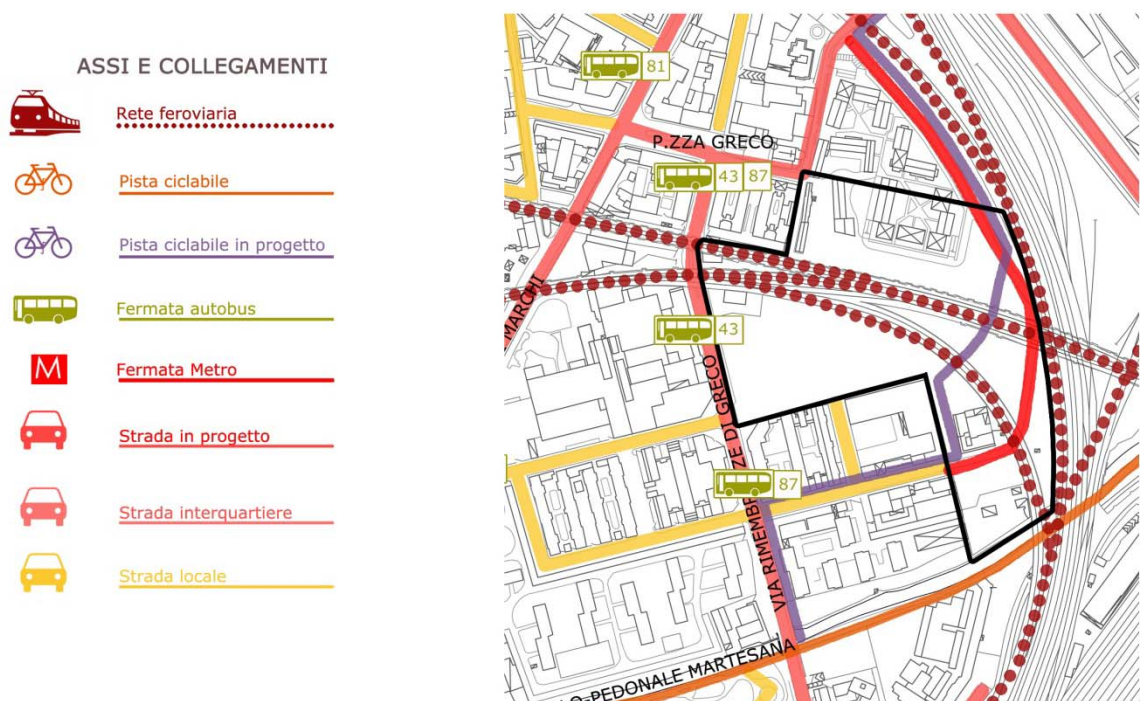


Figura 26. Stralcio della tavola 2.06, *Analisi viabilità*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore *Analisi delle destinazioni d'uso e delle funzioni degli edifici*.

Il quartiere ha una connotazione prevalentemente residenziale, ma in prossimità dell'antico centro di Greco numerosi sono i servizi offerti.

Per questo si è pensato di suddividere gli edifici presenti in tre macro gruppi: residenze, servizi ed attività lavorative.

Considerando le residenze, che caratterizzano maggiormente il quartiere, si sono riscontrati edifici a solo uso residenziale, edifici sempre residenziali ma con piano terra commerciale e residenze mobili (camper e roulotte). Le residenze con piano

¹⁷ Si rimanda alla tavola 2.06

terra commerciale caratterizzano le aree più prossime alla piazza di Greco, la via Melchiorre Gioia e la viale Monza. Questa tipologia edilizia permette un fronte su strada compatto ed una comunicazione diretta con l'utenza pedonale. Risulta quindi una tipologia vincente per quanto riguarda l'interazione della cittadinanza con i servizi offerti dalla città. Un insediamento di camper e roulotte si è formato ad ovest dell'area in una zona di vuoto urbano delimitato da due linee ferroviarie. Queste aree, spesso poco accessibili e quindi poco usufruibili, costituiscono delle zone di degrado all'interno di un contesto residenziale altrimenti ben sviluppato.

Per quanto riguarda i servizi, ne vengono offerti diversi, in prevalenza concentrati nelle vicinanze della piazza Greco. In questo quartiere vi sono servizi pubblici, come due scuole, un centro sportivo ed un ufficio delle poste; edifici religiosi, come la chiesa di Greco, il teatro parrocchiale ed il cimitero di quartiere; edifici culturali, come il centro sociale Leoncavallo, la fondazione Teatro alla Scala (sala prove), ed alcuni edifici di rilevanza storica quali la Cascina Conti e la Cassina de' Pomm, la chiesa di San Martino ed il cimitero di Greco.

Le attività lavorative presenti nel quartiere sono localizzabili principalmente al piano terra di diversi edifici residenziali, come già spiegato. Si tratta maggiormente di bar, alimentari e piccoli negozi. Di rilevante importanza dimensionale sono inoltre gli edifici di proprietà della Rete Ferroviaria Italiana presenti lungo la principale linea ferroviaria che porta alla stazione Centrale.¹⁸



Figura 27. Stralcio della tavola 2.07, *Analisi funzioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

¹⁸ Si rimanda alla tavola 2.07

Analisi dei pieni e vuoti.

Ai fini di una maggior comprensione a livello del quartiere, è stata svolta l'analisi dei pieni e vuoti. Si sono quindi messi in evidenza le zone edificate in relazione ai vuoti urbani ed alle aree verdi.

Si nota quindi che l'area di progetto risulta essere un grande vuoto urbano circondato da un'area densamente edificata.¹⁹

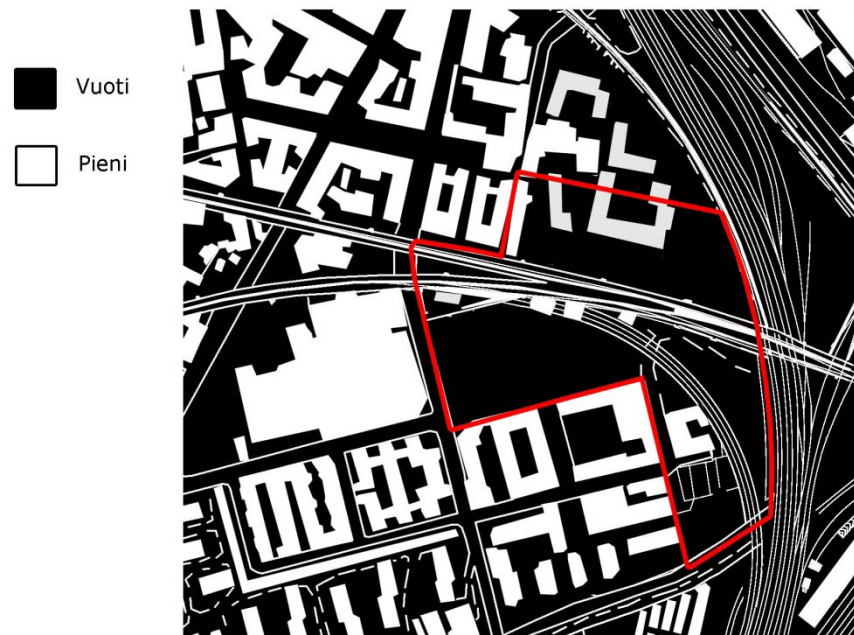


Figura 28. Stralcio della tavola 2.08, *Pieni e vuoti*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Analisi delle tipologie edilizie, altezze edifici e analisi del tessuto urbano.

Le zone edificate del quartiere di Greco sono facilmente suddivisibili in macro gruppi grazie alle diverse tipologie edilizie che caratterizzano la zona. Sono state infatti individuate cinque aree.

La zona residenziale del centro storico di Greco, come già accennato, si presenta con edifici dai 4 ai 6 piani con fronte su strada e zona commerciale al piano terra. Essi caratterizzano la zona immediatamente a nord dell'area. Questa tipologia di edifici si riscontra anche lungo viale Monza, nei quartieri di Turro e Gorla.

Più a sud, ma sempre confinanti con l'area di progetto, gli edifici hanno la caratteristica di essere molto alti (possono anche superare i 7 piani) e costituiti da più blocchi. Una tipologia ricorrente, facilmente riconoscibile, è quella caratterizzata da due blocchi con appartamenti opposti collegati ad un corpo scale ed ascensore centrale tramite dei corridoi esterni.

Spostandoci più ad ovest, il quartiere della Maggiolina spicca per le sue peculiarità costruttive. Gli edifici non superano i 4 piani ed hanno un tessuto variabile. Le

¹⁹ Si rimanda alla tavola 2.08

residenze che caratterizzano questa zona sono palazzine, villette e mini abitazioni. Tra le ville unifamiliari, degna di nota è la Palafitta, abitazione di Luigi Figini costruita da lui stesso nel 1934.

Delle mini abitazioni caratteristiche dell'area sono le cosiddette case a igloo, con pianta circolare e tetto a cupola, sono delle mini residenze costruite da Mario Cavallè nel 1946.

Gli edifici più bassi (1 o 2 piani) si trovano a nord ovest dell'area di progetto. Essi sono edifici residenziali ed industriali poco caratterizzati architettonicamente. Comprendono anche gli edifici di proprietà delle RFI.

Per quanto riguarda il tessuto urbano, si può notare che il tracciato ferroviario, oltre che dividere l'area di progetto, delimita due parti della città con una diversa maglia. Questo è dovuto al fatto che Milano è una città a sviluppo concentrico e quindi radiale.²⁰



Figura 29. Stralcio della tavola 2.09, *Analisi tipologie edilizie e tessuto urbano*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

²⁰ Si rimanda alle tavole 2.09 e 2.10



Figura 30. Stralcio della tavola 2.10, *Analisi altezze degli edifici*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Analisi delle soglie storiche costruttive.

Le soglie storiche degli edifici residenziali del quartiere di greco sono state individuate attraverso le soglie dell'Istituto Geografico Militare dei seguenti anni: 1888, 1936, 1960. Si è poi utilizzata la Carta Tecnica Regionale per l'anno 1980 anche per gli edifici non destinati a residenze.

Si nota che gli edifici che risalgono a prima del 1888 sono gli edifici storici della chiesa di Greco, la cascina Conti e la Cassina de' Pomm. In seguito si sviluppano dapprima i complessi residenziali a nord rispetto all'area di intervento, poi quelli a sud. Gli insediamenti più recenti sono quelli a carattere non residenziale.²¹

²¹ Si rimanda alla tavola 2.11

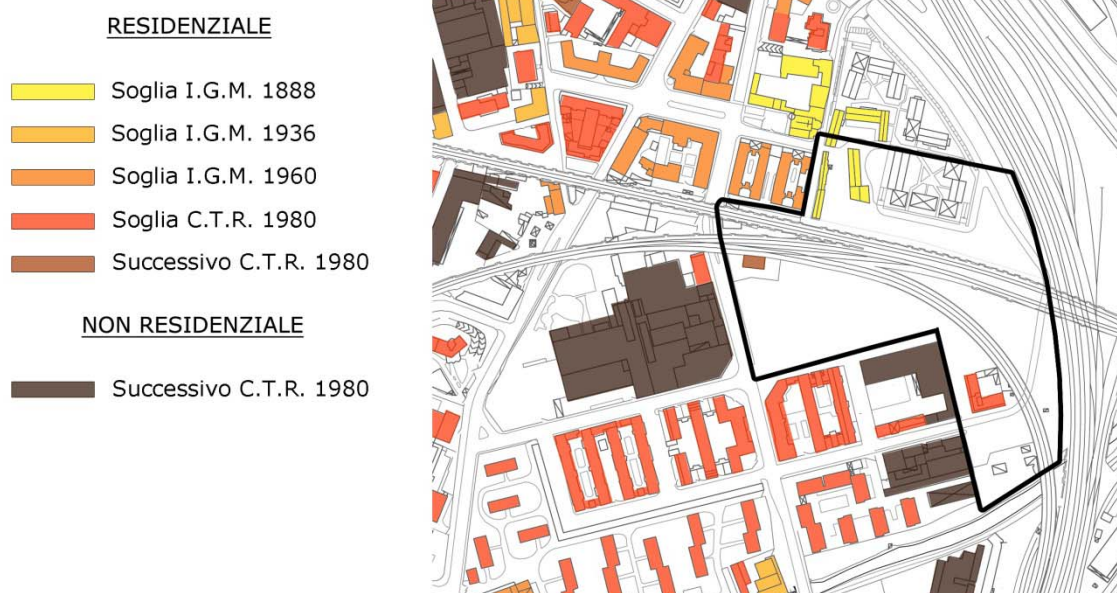


Figura 31. Stralcio della tavola 2.11, *Analisi soglie storiche costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Analisi delle rilevanze architettoniche.

L'edificio più antico e quindi, anche per questo, più rilevante del quartiere, è la chiesa di Greco. Dedicata a San Martino, fu costruita nel 1577 sull'area di una precedente chiesina i cui affreschi del XII-XIV secolo ne danno testimonianza. La facciata, dalle classiche linee, divisa in due ordini e coronata da un timpano triangolare mostra un incipiente barocco. Inoltre è scandita verticalmente da lesene. Il campanile, formato da otto colonne di ghisa (e perciò databile al secolo XIX) sostenenti la cupola ogivale, regge cinque campane il cui asse di rotazione fissato alle colonne, permette quella sporgenza delle campane che costituisce una caratteristica difficilmente riscontrabile in altri campanili.²²

La Stazione Centrale di Milano è un edificio di rilevante valore storico nonché la terza stazione italiana per flusso di persone.²³

Costruita tra il 1912 ed il 1931 da Ulisse Stacchini, nasce per sostituire una stazione che ormai non soddisfa più le esigenze cittadine. La principale differenza è che da stazione passante diventa stazione di testa in modo che i binari non attraversassero più il cuore di Milano. E' un edificio imponente di stampo classico con dimensioni enormi, tutto costruito in cemento armato rivestito da pietra aurisina proveniente dal Friuli. Allo stesso tempo è all'avanguardia per l'utilizzo di torri e per la disposizione interna con il biglietteria perpendicolare ai binari e per la perfetta simmetria. La copertura dei binari, inizialmente pensata come una pensilina, viene poi realizzata con cinque arcate in acciaio e vetro con centine a tre cerniere.

²² Si è fatto riferimento al sito internet www.unicamilano.it
www.lombardiabeniculturali.it

²³ E. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli



Figura 32. Chiesa di San Martino in Piazza Greco. Fonte: foto dell'autore

Figura 33. Stazione Centrale di Milano. Fonte: www.wikipedia.it

La palafitta, già accennata precedentemente, fu costruita da Luigi Figini nel 1934 come sua dimora. Lo stampo è evidentemente razionalista e richiama lo stile di Le Corbusier.

Il nome di palafitta deriva dal fatto che a separare la casa dalla terra ci sono 12 pilastri di cemento armato alti un po' più di quattro metri. Una scala che parte dal giardino conduce al primo dei due livelli in cui è divisa l'abitazione: la zona giorno e la zona notte. Al primo piano si trovano il salone di soggiorno, aperto sul terrazzo, la cucina ed una stanza da letto di servizio; al piano superiore, più contenuto in pianta, è ospitata la zona notte con camera da letto e bagno, affacciati su due terrazze solarium, una attrezzata come palestra, l'altra dotata di piccola vasca marmorea a pavimento. Una sorta di giardino dentro casa, dunque, ma anche una casa dentro il giardino. La circonda un rigoglioso giardino che in parte ne copre la particolare struttura.²⁴

Le case Igloo fanno parte del quartiere dei giornalisti, ormai fuso con quello limitrofo della Maggiolina. In principio erano 12, adesso ne sono rimaste solo 8. Risalgono al 1946 e devono la loro paternità all'ingegnere Mario Cavallè, che importò la tecnica costruttiva direttamente dagli Stati Uniti. La pianta è circolare con un diametro di circa 7,5 metri. La curiosa forma dell'edificio consente un'assoluta libertà nella disposizione degli interni (all'incirca 45 mq): i vari occupanti hanno via via interpretato ed adattato secondo le proprie esigenze gli spazi, andandone a stravolgere la disposizione originaria. Queste case si sviluppavano su due livelli, quello esterno, al di sopra del piano stradale, e quello seminterrato, accessibile solo dall'esterno (o da una ristretta botola all'interno): quest'ultimo, pur non avendo l'abitabilità, si presta ugualmente a innumerevoli usi. Il seminterrato riceve l'illuminazione da alcuni piccoli lucernai disposti all'altezza della strada.²⁵

²⁴ Si è fatto riferimento al sito internet www.blog.urbanfile.org
www.tastingtheworld.it

²⁵ Si è fatto riferimento al sito www.tastingtheworld.it



Figura 34. La Casa Palafitta di Luigi Figini. Fonte: www.lombardiabeniculturali.it

Figura 35. Case Igloo del quartiere Maggiolina. Fonte: www.milano.corriere.it

Il Cimitero di Greco si trova in via Emilio De Marchi (in zona 2) e ha un'estensione di 38.000 mq di cui 2.200 mq destinati a verde. Il Cimitero è fiancheggiato da una pista ciclabile che lo collega alla zona della Bicocca, sede dell'università e del Teatro degli Arcimboldi.²⁶

L'attuale area Bicocca ha una storia ricca di vicissitudini. Nel 1450 la famiglia Arcimboldi di Parma costruì in quest'area, a cinque chilometri dalla città, la propria dimora di campagna. Tuttora esistente, conferisce probabilmente il toponimo "bicocca", ossia roccaforte o castello di modeste proporzioni. La Bicocca è stata il cuore dell'area industriale che si era rapidamente costituita ai primi del Novecento nella zona tra il comune di Greco e Sesto San Giovanni, e che per molti decenni ha rappresentato il simbolo dell'industrializzazione lombarda. A partire dalla fine degli anni settanta si assistette a un progressivo disimpegno dell'industria dalle aree urbane di tutta Italia. Il quartiere della Bicocca fu particolarmente interessato da fenomeni di deindustrializzazione e delocalizzazione. Fu pensato così di intervenire indicando un concorso vinto dalla Gregotti Associati International e fu realizzato nel 1989.

L'area oggi comprende L'università degli Studi di Milano, il Teatro degli Arcimboldi, i centri di ricerca di enti come il CNR e l'Istituto Neurologico Carlo Besta e dell'azienda Aem, oltre alla sede di diverse aziende e il quartier generale della Pirelli, il centro commerciale Bicocca Village, la sede espositiva Hangar Bicocca, nuove abitazioni e circa 300 000 m² dedicati a spazi verdi, servizi pubblici e parcheggi.

²⁶ Fonte: www.milanofree.it

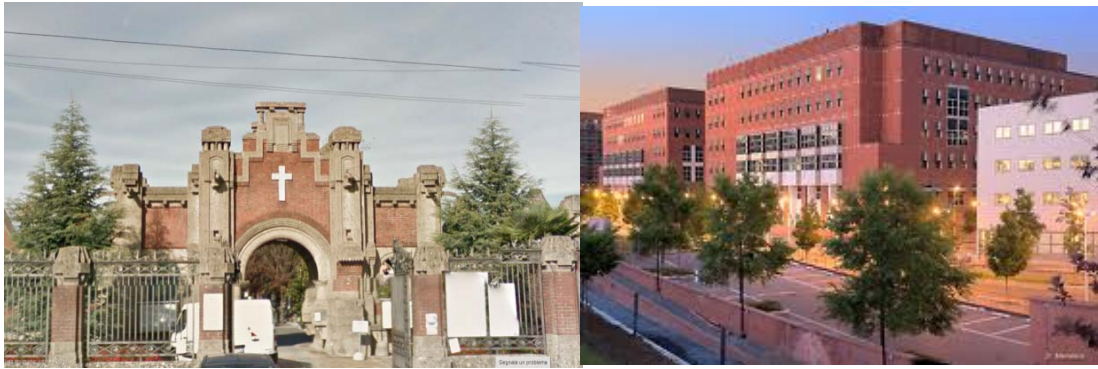


Figura 36. Cimitero di Greco a Milano. Fonte: www.maps.google.it

Figura 37. Università Bicocca di Milano. Fonte: www.mib.infn.it

Analisi demografiche

Nell'ambito delle analisi condotte²⁷ a livello di quartiere è parso necessario affiancare alle analisi dell'ambiente costruito quelle che prendessero in considerazione gli aspetti antropici. In questo modo è stato possibile stabilire il numero di persone residenti nel quartiere e la loro età. Essendo il quartiere composto da una percentuale rilevante di stranieri, sono stati valutati questi dati anche per la popolazione non italiana.

La popolazione residente nel quartiere di Greco è di 187.734 abitanti. L'89% di questi abitanti sono italiani, dei quali il 40% sono donne ed il 39% uomini, mentre il restante 22% sono stranieri, dei quali il 10% sono donne e l'11% uomini. La popolazione italiana qui residente ha prevalentemente un'età superiore ai 20 anni con un picco tra i 40 ed i 60 anni per degradare lentamente. Mentre, per quanto riguarda i cittadini stranieri, essi hanno prevalentemente un'età compresa tra i 20 ed i 60 anni, e quasi nessuno al di sopra dei 60 anni. I bambini da 0 a 14 anni sono in prevalenza stranieri.²⁸

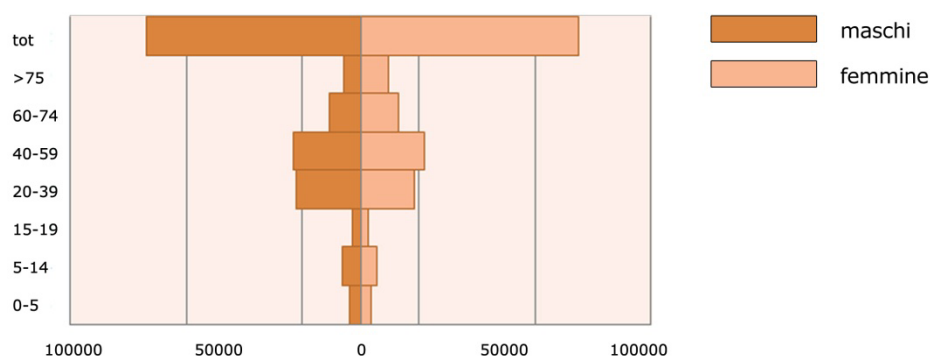


Figura 38. Grafico popolazione italiana residente in Zona 2, stralcio della tavola 2.13, *Analisi demografiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

²⁷ Le analisi sono state condotte relativamente alla popolazione del Comune di Milano residente in Zona 2 (1.258 ettari di superficie). I dati risalgono al 31 dicembre 2011 e appartengono al settore statistica del Comune di Milano.

²⁸ Si rimanda alla tavola 1.04

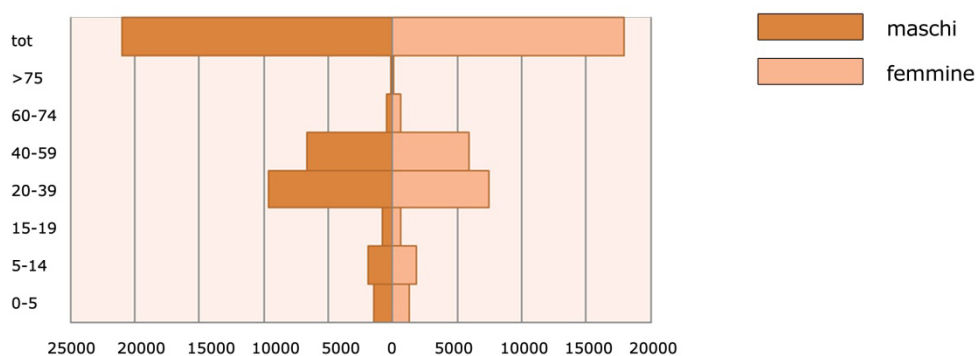


Figura 39. Grafico popolazione straniera in Zona 2, stralcio della tavola 2.13, *Analisi demografiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Analisi dati climatici

Interessanti e necessari al fine di conoscere meglio l'ambiente con cui ci si appropria sono lo studio e l'analisi dei dati climatici del luogo. In questo paragrafo si prendono in considerazione i diversi aspetti del clima: le temperature medie (massime e minime), l'umidità media, le precipitazioni medie, la forza media del vento, etc. Di seguito vengono riportati i grafici e le considerazioni riguardanti ogni analisi effettuata.

Temperatura media mensile [°C]

Il grafico mostra come l'andamento della curva sia inferiore rispetto a quella della norma UNI 10349. L'analisi delle temperature mostra come il sito di progetto presenti una situazione non troppo rigida d'inverno, e relativamente calda d'estate. Infatti, le temperature oscillano tra 0°C di Gennaio e i 23°C del mese di Luglio.

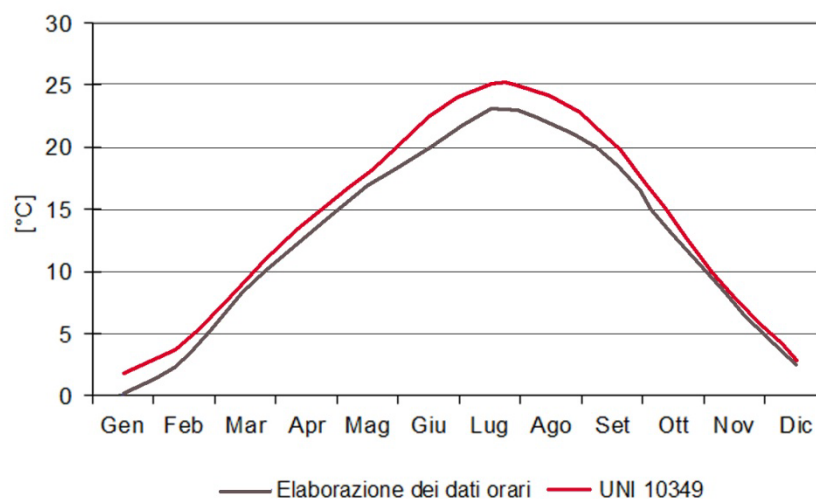


Figura 40. Grafico temperatura media mensile del sito di progetto a confronto con i dati della norma UNI 10349, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Umidità relativa [%]

Il clima percepito non è dipendente solo dalle temperature medie valutate in gradi, ma viene influenzato anche dalla percentuale di umidità presente. L'analisi di quest'ultima evidenzia una situazione di umidità relativamente alta nei mesi autunno-invernali, i mesi estivi risultano invece essere caratterizzati da un'umidità minore.

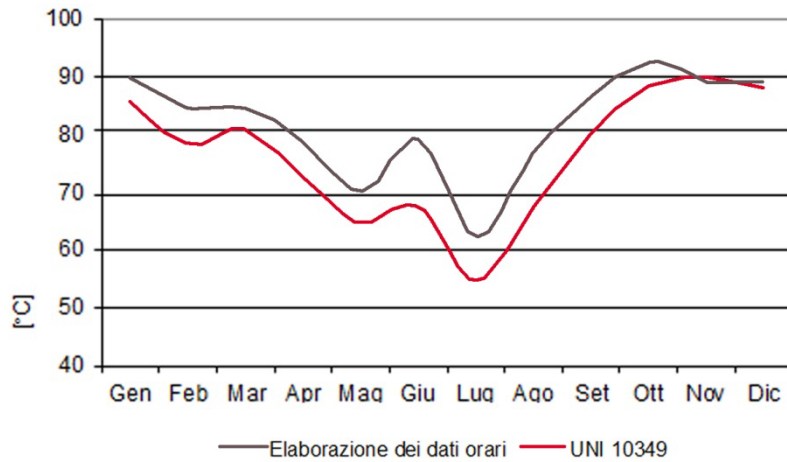


Figura 41. Grafico umidità relativa del sito di progetto, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Precipitazioni [mm]

L'analisi mette in evidenza una distribuzione di piogge con picchi nella stagione autunnale, mentre i mesi estivi risultano essere i meno piovosi.

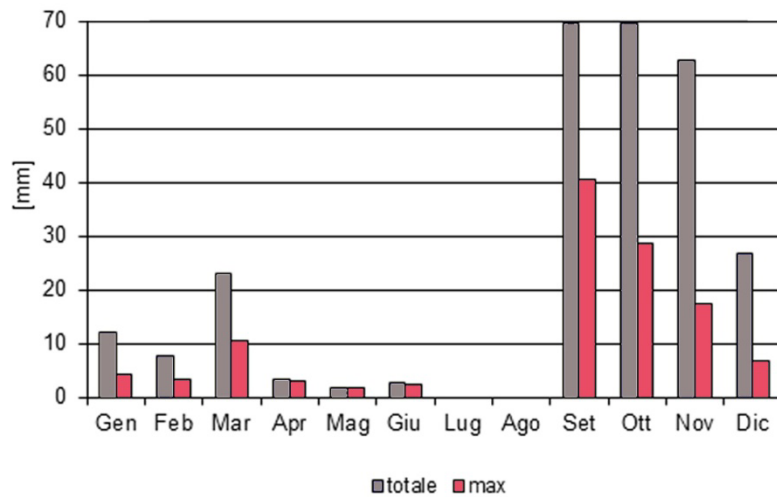


Figura 42. Grafico piovosità del sito di progetto, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Velocità del vento [m/s]

Il grafico relativo alla velocità media mensile del vento è calcolato sulla base dei dati presenti sulla norma UNI 10349, relativamente all'area di progetto, che risulta essere compresa nelle ZONA1 e nella regione di vento A. I calcoli seguono quindi le formule della suddetta normativa. L'analisi mette in evidenza la costante presenza di vento nel sito di progetto durante tutto l'anno, con valori rilevanti nei mesi estivi ed una diminuzione nei mesi autunnali. Il vento prevalente proviene dalla direzione nord-ovest e non supera mai i 1,6 m/s (mese di aprile).

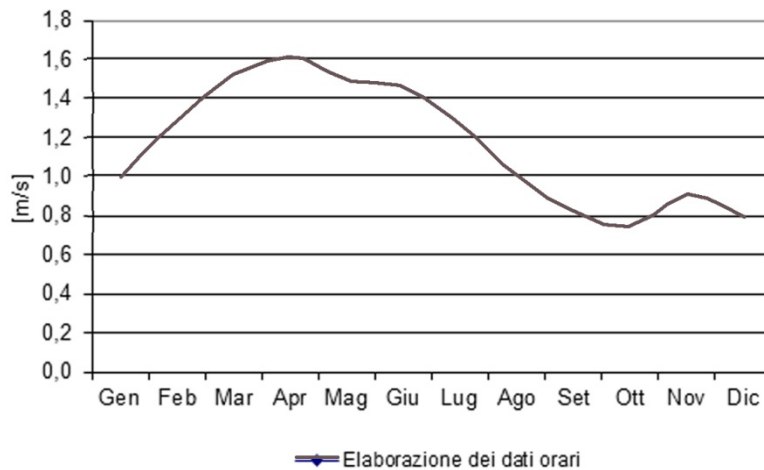


Figura 43. Grafico velocità media mensile del vento, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Irradiazione solare su superficie orizzontale [MJ/mq]

I grafici mostrano che nei mesi invernali l'irradiazione solare diffusa e diretta sono quasi uguali e inferiori a 3 MJ/mq, questi valori nei mesi estivi aumentano notevolmente, ed il valore massimo che si calcola è nel mese di luglio, pari a 24 MJ/mq.

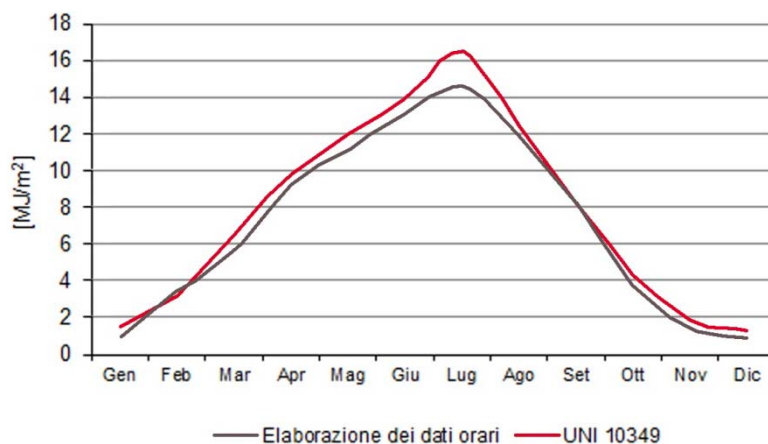


Figura 44. Irradiazione media mensile diretta, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

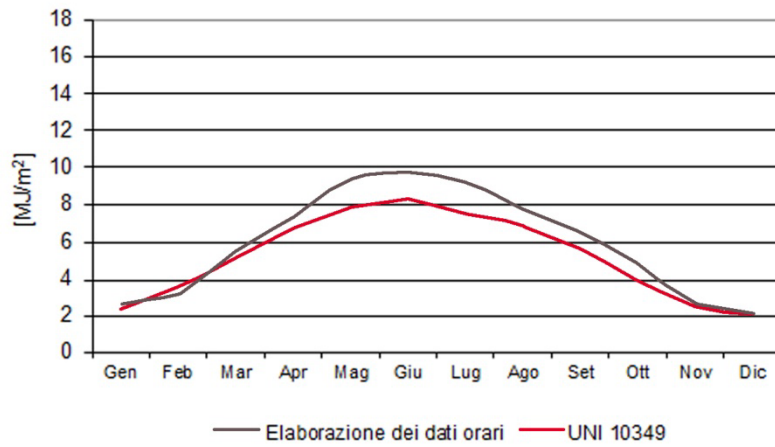


Figura 45. Irradiazione media mensile diffusa, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*.
Fonte: elaborazione grafica dell'autore

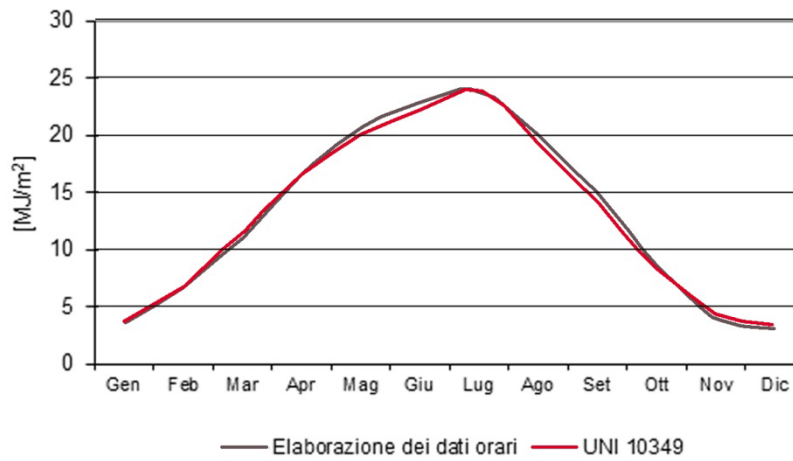


Figura 46. Irradiazione media mensile totale, stralcio della tavola 2.14, *Analisi climatiche*.
Fonte: elaborazione grafica dell'autore

CAPITOLO 3. LO STATO DI FATTO

In questo capitolo si descrivono le operazioni di rilievo compiute con il fine di ottenere un'approfondita conoscenza dell'area di studio. Alla prima fase di rilievo fotografico sono seguite le fasi di rilievo geometrico-materico e il rilievo tecnologico.

3.1 Rilievo fotografico

Il rilievo fotografico consiste in una raccolta d'informazioni inerenti l'oggetto di studio ed il suo contesto. Si valutano inoltre le sue condizioni, il suo aspetto ed i suoi tratti architettonici.

Con questo tipo di analisi è possibile evidenziare particolari rilevanti, condizioni al contorno dell'area di studio e viste prospettiche, con lo scopo finale di formare un catalogo che fornisca riferimenti in fase progettuale.

Le informazioni raccolte sono presentate in due tavole, la prima relativa all'intorno dell'area oggetto di studio, la seconda relativa all'area stessa.

Tutte le foto sono state realizzate con fotocamere digitali, durante i diversi sopralluoghi effettuati, siano essi quelli per la ricognizione del quartiere che per l'osservazione specifica dell'area di progetto.

Panoramica degli edifici e degli spazi attorno all'area di progetto

Nella prima fase di rilievo fotografico ci si è soffermati sugli edifici e sugli spazi attorno all'area di studio. Le fotografie ritraggono ciò che circonda l'area: gli edifici che si affacciano su di essa, le vie dalle quali vi si accede e il fulcro del quartiere, la Piazza Greco, adiacente all'area di progetto.



Figura 47. Panoramica degli edifici a sud dell'area di progetto. Fonte: foto dell'autore

Ciò che colpisce ed è evidente dall'analisi effettuata è la forte presenza dell'infrastruttura ferroviaria che attraversa l'intero quartiere: le arcate degli anni '30 ed il colore giallo delle barriere acustiche del nuovo viadotto sono una presenza costante.²⁹

²⁹ Si rimanda alla tavola 2.01

L'area di progetto

Nella seconda fase si è presa in analisi l'area di progetto, soffermandosi in particolare sui due oggetti d'intervento: le arcate e in nuovo viadotto.

Nella zona a nord del tracciato ferroviario è presente il cantiere per la realizzazione della zona residenziale prevista dal Programma Integrato d'Intervento; non è stato pertanto possibile accedervi per fotografare il lato nord delle arcate degli anni '30.

La zona a sud del tracciato, utilizzata per l'accesso al cantiere suddetto, verte in stato di abbandono e degrado, in particolare l'affaccio sul Naviglio Martesana.

In questa fase sono state scelte viste panoramiche con il fine di dare una vista completa dell'area.³⁰



Figura 48. Viste dell'area di progetto: arcate anni '30 e nuovo viadotto. Fonte: foto dell'autore

³⁰ Si rimanda alla tavola 3.02

3.2 Rilievo metrico-materico e tecnologico

Il rilievo metrico permette la conoscenza dimensionale e materica dell'oggetto di studio. Non è stato possibile accedere a tutte le arcate per motivi di sicurezza, si è quindi effettuato il rilievo metrico solo di alcune arcate. Questo è stato effettuato *in situ*, misurando la distanza tra elementi (tra le imposte delle arcate, tra i piedritti, etc.), in modo da poter verificare la veridicità dei disegni forniti da RFI, Rete Ferroviaria Italiana, che effettivamente si sono rivelati piuttosto corretti. Per le arcate in cui non è stato possibile effettuare le misurazioni, ci si è affidati al materiale fornitoci dall'azienda ferroviaria.

Attraverso il rilievo materico si giunge alla conoscenza dei materiali utilizzati in ogni elemento visibile. Questo studio è stato condotto in loco, utilizzando sempre come materiale di base i disegni forniti.

Le Arcate degli Anni'30

La struttura esistente è costituita da una serie di archi a luce variabile (circa 9 m) realizzati in calcestruzzo non armato. Gli archi presentano una sezione variabile compresa tra 90 cm (alle imposte) e 60 cm (in chiave) e sono realizzati in tre conci; mentre i piedritti hanno altezza fuori terra di circa 3 m e una sezione di circa 1,50 m, le fondazioni sono di tipo diretto.³¹

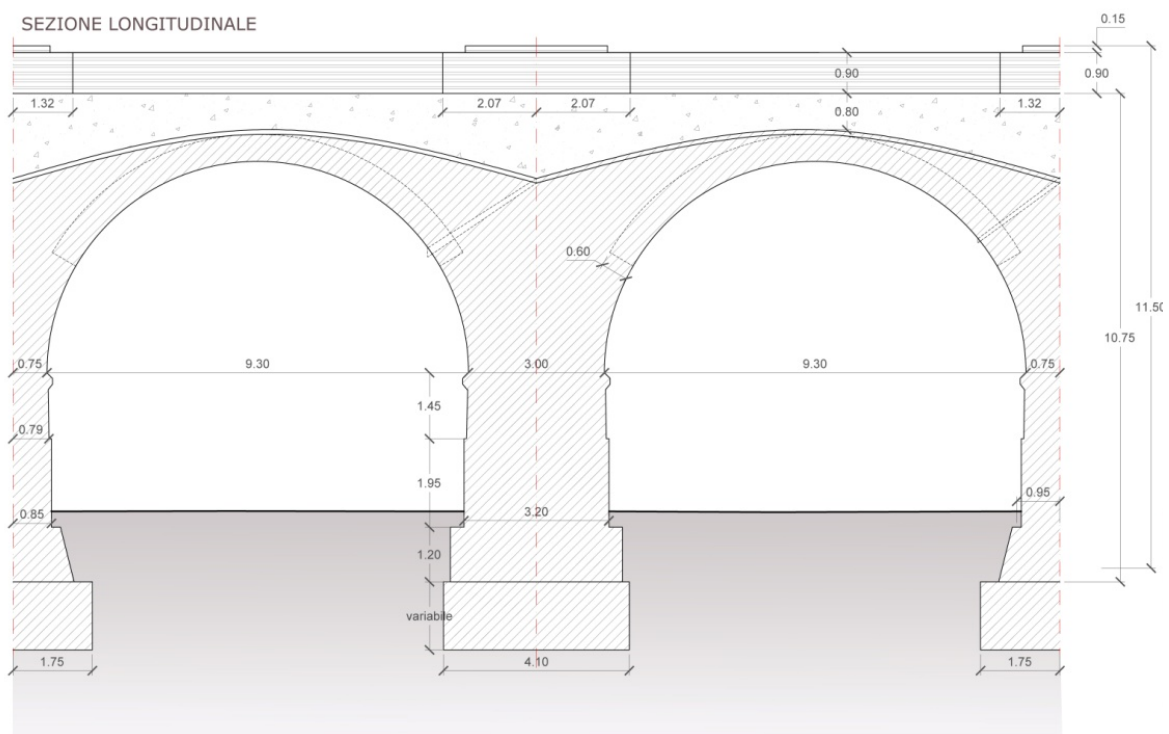


Figura 49. Estratto tavola 2.03, *Sezioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Il nuovo viadotto

Nell'ambito del progetto di collegamento ferroviario tra la stazione FS di Milano Centrale e l'aeroporto di Malpensa è stato realizzato l'allargamento del viadotto ad

³¹ Si rimanda alle tavole 3.03 e 3.04

arcate esistente, per consentire l'accesso dei nuovi binari alla stazione di Milano Centrale. L'opera è realizzata nel tratto di ferrovia compreso tra la via Rimembranze di Greco e il Naviglio Martesana.

L'opera realizzata nel 2006 prevedeva l'ampliamento del viadotto esistente mediante il prolungamento dei piedritti esistenti lungo la loro direttrice ed il mantenimento delle caratteristiche geometriche degli archi esistenti. L'ampliamento è stato realizzato in c.a. gettato in opera e le due strutture adiacenti sono solidarizzate con un sistema di barre in acciaio.

Il viadotto presenta una luce tra gli assi delle pile di 25 m ed è costituito da quattro travi in cemento armato precompresso (c.a.p.) "a cassoncino" collegate trasversalmente da una soletta in cemento armato di spessore variabile tra 27,5 cm e 37 cm e da quattro traversi in c.a.p. per ogni campata. Le pile presentano un'altezza fuori terra variabile tra 4,08 m e 4,51 m e terminano in testa con un pulvino dello spessore di 2 m e della dimensione in pianta di 9,50 m x 3,42 ÷ 4,52 m, che consentano la disposizione degli appoggi in acciaio. La pila è realizzata in c.a. gettato in opera con una sezione di lunghezza 6,50 m e spessore variabile tra 1,40 e 2,15 m.

All'interno dell'area oggetto di concorso insiste il fabbricato della sottostazione elettrica di proprietà di RFI, compreso nel progetto del nuovo viadotto.



Figura 50. Nuovo viadotto Milano Centrale-Malpensa. Fonte: foto dell'autore

IL PROGETTO
ARCHITETTONICO



CAPITOLO 4. LA METAPROGETTAZIONE

Nel capitolo che segue vengono descritti gli studi antecedenti alla progettazione. Questi si articolano in diversi punti: il primo di questi è l'analisi FDOM, in cui si riscontrano le problematiche e al tempo stesso gli aspetti positivi dell'area, al fine di arrivare ad una conoscenza completa del lotto di progetto. Il passo successivo è stato la realizzazione di un sondaggio di quartiere nel quale emergessero le criticità dello stesso e le esigenze degli abitanti. In seguito vengono analizzati una serie di progetti analoghi al presente, tentando di capire l'approccio utilizzato e le soluzioni conseguite nella loro realizzazione. Infine si è passati alla stesura del conceptplan, il quale consiste in una descrizione grafica delle idee su cui si basa l'intero progetto. Sono stati pertanto individuati gli obiettivi principali posti a traguardo dell'intero progetto.

4.1 Analisi FDOM

L'analisi FDOM (Forze, Debolezze, Opportunità e Minacce) è una tecnica utilizzata per sintetizzare tutti i dati raccolti e le analisi compiute. Questo lavoro fornisce le suggestioni necessarie per indirizzare il progetto verso determinate scelte. Al fine di rendere l'analisi chiara e sintetica è stata fatta una suddivisione; sono state considerate forze e debolezze come fattori endogeni, ovvero agenti all'interno dell'area di progetto. Al contrario risultano fattori esogeni opportunità e minacce, quindi aspetti inerenti a tutto ciò che sta al di fuori della zona di intervento.

Analizzando l'esterno si può riscontrare il primo aspetto positivo di rilievo, ovvero l'appartenenza dell'area al progetto del Raggio Verde 1. Questo progetto, come spiegato in precedenza, darà luogo ad una nuova pista ciclabile che attraverserà l'area di progetto e andrà a collegarsi a quella esistente. Altre opportunità sono determinate da un lato dalla presenza del naviglio Martesana, e dall'altro, dal fatto che il quartiere possiede una valenza storica, la quale gli conferisce una forte identità. Di contro, le minacce provenienti sempre dall'esterno riguardano prima di tutto la localizzazione dell'area; questa si presenta come zona periferica e comunque poco attrattiva. In aggiunta la forte presenza della infrastruttura ferroviaria chiude l'area di progetto ed il quartiere intero. Infine la mancanza di parcheggi rappresenta un ulteriore aspetto negativo per la progettazione. Si considerano ora i fattori endogeni, cioè quelli utili, che andranno a determinare alcune delle scelte di questo progetto. Essi sono in primo luogo le arcate degli anni '30, le quali hanno una forte valenza storica e costituiscono un landmark per l'intero quartiere. Un'altra forza è rappresentata dalla posizione del lotto e dalla sua conformazione; esso infatti si presenta come un grande spazio vuoto in un sistema di pieni, situato nelle vicinanze delle stazioni di Milano Centrale e Milano Greco-Pirelli. Inoltre il quartiere di Greco ricorda la sua storia attraverso edifici di rilievo, i quali costituiscono un punto di partenza per la valorizzazione dell'area. Tra questi la Cascina Conti, che, come previsto dal P.I.I., verrà recuperata e rifunzionalizzata. In seguito alle considerazioni appena fatte, sono stati analizzati i fattori dannosi

all'interno dell'area di progetto. Il primo è sicuramente rappresentato dal forte degrado. La zona si presenta abbandonata e non sfruttata dalla cittadinanza. Altre debolezze sono la presenza di imponenti infrastrutture ferroviarie, di forte impatto visivo e acustico e la mancata valorizzazione del Naviglio Martesana. È parso inoltre opportuno inserire tra i fattori dannosi la costruzione del nuovo complesso residenziale Borgo Cascina Conti, in quanto la qualità architettonica dell'intervento è di scarso valore.

In seguito all'individuazione di forze, debolezze, opportunità e minacce, si è passati alla stesura della seguente tabella che sintetizza le analisi fatte.

	FATTORI UTILI	FATTORI DANNOSI
FATTORI INTERNI	<ul style="list-style-type: none"> - INFRASTRUTTURE: Arcate come landmark - LOCALIZZAZIONE: Grande spazio vuoto in un sistema di pini e vicinanza alle stazioni Centrale e Greco-Pirelli - GRECO: Presenza di edifici storici di rilievo - INTERVENTI: Zona residenziale (P.I.I.Z 19) in costruzione e ripristino campo sportivo 	<ul style="list-style-type: none"> - DEGRADO: Edifici degradati (arcate usate impropriamente) e area percepita come zona di degrado - INFRASTRUTTURE: forte impatto visivo ed acustico delle ferrovie - LOCALIZZAZIONE: Assenza di collegamenti tra area e Martesana - INTERVENTI: Zona residenziale (P.I.I.Z 19) in costruzione
FATTORI ESTERNI	<ul style="list-style-type: none"> - VERDE: l'area è attraversata dal "Raggio Verde 1" - ACQUA: l'area è tangente a sud al naviglio Martesana - GRECO: in passato un borgo, oggi un quartiere con una forte identità - PISTA CICLABILE: l'area tange a sud con la pista ciclo-pedonale della Martesana 	<ul style="list-style-type: none"> - LOCALIZZAZIONE: zona periferica e poco attrattiva - INFRASTRUTTURE: forte presenza delle infrastrutture ferroviarie che chiudono l'area e l'intero quartiere - SERVIZI: mancanza di parcheggi

Tabella 1. Analisi FDOM. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.

4.2 Sondaggio popolazione residente

A seguito dell'analisi FDOM, si è passati ad un riscontro con gli abitanti di Greco. E' stato realizzato un questionario da sottoporre a un campione di persone residenti in questa zona di Milano. Le domande sono state pensate per mettere in luce le problematiche del quartiere e per valutare le esigenze della comunità in quanto futuri utenti del progetto. Le persone sono state quindi pregate di rispondere a quattro semplici domande: le prime due riguardanti il campo sportivo e la strada prevista dal PGT, le seguenti avevano invece l'obiettivo di fare emergere le carenze dell'area e alcune possibili destinazioni d'uso per il progetto.

Di seguito si riportano i quesiti, con i rispettivi risultati.³²

1) Favorevole o contrario alla nuova strada in previsione?

Una netta maggioranza degli individui interrogati ha risposto di essere favorevole perché la nuova strada potrebbe essere una soluzione intelligente per il decongestionamento del traffico, il quale risulta essere molto intenso negli orari di punta.

2) Favorevole o contrario alla realizzazione di un nuovo campo da calcio?

Come nel quesito precedente, un numero importante di persone ha risposto positivamente. Inoltre la maggior parte di questi ha sottolineato il fatto che nell'area in questione era presente un campo da calcio, e proprio per questo motivo gli abitanti di Greco sono estremamente favorevoli a riaverlo.

3) Quali sono le debolezze del quartiere di greco?

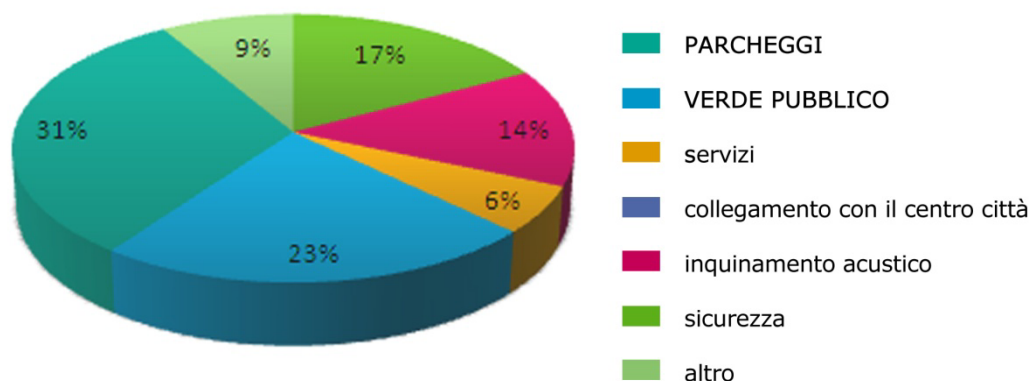


Figura 51. Risultati questionari: dal seguente grafico si rileva che le percentuali maggiori sono la mancanza di parcheggi e del verde pubblico. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.

³² Si rimanda alla tav 4.01

4) Che tipo di servizi mancano al quartiere di Greco?

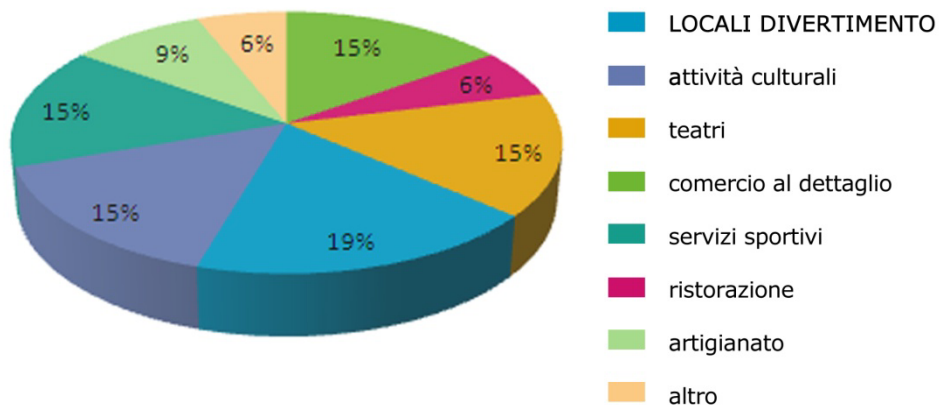


Figura 52. Risultati questionari: dal seguente grafico si rileva che la percentuale maggiore è la mancanza di locali per il divertimento. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.

I risultati dei sondaggi mettono in luce delle problematiche già in parte emerse nelle analisi FDOM, queste sono la mancanza di parcheggi e di verde pubblico. Per quanto riguarda invece i servizi di quartiere maggiormente richiesti, la percentuale più alta è stata raggiunta da locali serali e di divertimento, mentre possiedono le medesime percentuali il commercio al dettaglio, palestre, attività culturali e teatri. Pertanto la progettazione ha voluto tenere in considerazione i risultati dei sondaggi per poter effettuare delle scelte plausibili e consone alle richieste degli utenti.

4.3 Casi studio: buone pratiche

Per comprendere il giusto approccio verso una progettazione di questo tipo, sono stati studiati dei casi di riqualificazione di arcate ferroviarie dismesse. L'obiettivo è quello di accostarsi al processo progettuale con maggior competenza in materia e conoscenza dei caratteri principali che definiscono questo tipo di intervento. Ogni esempio viene riportato in una scheda, la quale definisce tre aspetti fondamentali del progetto: architettonico, tecnologico-impiantistico e sostenibilità. Di seguito sono riportati tutti i casi studio presi in considerazione.

CASO STUDIO N.1: Les arches, Dubosc & Landowski, Issy Les Moulineaux, Parigi

L'intervento realizzato nei pressi di Parigi, dagli architetti Dubosc e Landowski, ha previsto la riqualificazione del "sottoponte" del Boulevard Garibaldi a Issy Les Moulineaux.

Si tratta di 24 archi di un viadotto ferroviario ancora in uso ed in pieno centro, i quali sono diventati la sede di atelier di artisti, sale musicali e di attività di sperimentazione cinematografica. Con questo intervento il Boulevard di Garibaldi è rifiorito, diventando luogo di transito e di attrazione, il che ha fatto aumentare anche il valore degli edifici che prima affacciavano su un ponte desolato.



Figura 53. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, prima e dopo l'intervento. Fonte: www.dunatelieralautre.org

Architettonico

Gli archi ospitano diversi servizi e funzioni, infatti le prime 6 arcate accolgono una scuola di free climbing, 10 archi sono dedicati a diversi artisti che condividono su un lato l'atelier vero e proprio, mentre sull'altro lato del fornice vi è l'abitazione personale degli stessi. Un arco è dedicato ad attività cinematografiche, mentre 3 sono a disposizione dei cittadini amatori di musica, ballo, teatro, ecc.

La facciata verso il centro di Issy (in cui vi sono gli atelier) è principalmente vetrata, mentre quella su cui sono disposti gli alloggi degli artisti hanno un rivestimento finale in legno.

I vincoli imposti dall'ente che gestisce il traffico ferroviario erano di non toccare mura o fondazioni del viadotto, lasciando così la possibilità di ispezione alle strutture del ponte (1 metro di distanza dai ritti e 2 metri dalla volta). Di conseguenza il progetto ha previsto l'utilizzo di una tecnologia stratificata a secco.

Impianti/tecnologico

La tecnica costruttiva S/R si basa quindi su un telaio portante di acciaio, un involucro interno in gesso rivestito, intercapedini iperisolate e lamiera grecata come guscio esterno. La tipicità dell'intervento consiste quindi in un controinvolucro interno che isola sia termicamente che da rumori e vibrazioni. Per quanto riguarda le nuove fondazioni, estremamente contenute visto l'esiguo peso di strutture e rivestimenti, sono desolarizzate da quelle massicce del viadotto e separate da esse mediante una trincea di sabbia che intrappola le vibrazioni dei treni in transito.



Figura 54. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, interni. Fonte: www.dunatelieralautre.org

Sostenibilita'

La struttura in carpenteria di acciaio ha permesso tempi rapidi di esecuzione e una notevole semplificazione delle operazioni di cantiere. Queste sono avvenute con forniture just in time, vista la particolarità dell'ubicazione del sito.

Certamente il problema più rilevante di questo progetto è stato quello di realizzare l'intervento conservando attiva la ferrovia (a differenza di altri casi come il noto "Viaduc des Art" di Berger nei pressi di Gare de Lyon, dove la corsia dei binari è stata soppressa e trasformata in percorso in quota con giardini); tale problematica ha imposto quindi severe soglie acustiche che sono state totalmente rispettate per ambienti interni grazie alla tecnologia costruttiva a secco, che fornisce alte performance fonoisolanti oltre che termiche. Inoltre la porzioni di nuova costruzione, sono ipoteticamente smantellabili (e riciclabili) con estrema facilità, come era stato richiesto dal gestore della rete di trasporto.



Figura 55. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, foto del progetto in fase costruttiva. Fonte: www.dunatelieralautre.org

CASO STUDIO N.2: Im Viadukt, EM2N, Zurigo

Da quasi 120 anni, il viadotto Letten, non lontano dalla stazione centrale di Zurigo, conduce verso nord attraverso una ex zona industriale. Da sempre le numerose arcate in pietra naturale di questa costruzione sono state utilizzate in modo per lo più improvvisato e spontaneo come aree di stoccaggio, ma anche per negozi o attività gastronomiche.

La crescente pressione della città rese questi spazi sempre più interessanti per possibili utilizzi creativi.

Nel 2005 venne pertanto indetto un concorso per la riqualificazione delle arcate, che vide come vincitore lo studio EM2N. Il progetto fu realizzato e si concluse nel 2010.



Figura 56. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, prima e dopo l'intervento di recupero. Fonte: www.im-viadukt.ch

Architettonico

Per la progettazione architettonica delle nuove strutture interne alle arcate lo studio EM2N ha esaminato due questioni fondamentali:

- Cosa inserire tra 2 infrastrutture, per renderle parte integrante del tessuto urbano?
- Come costruire a basso costo, rispettando i requisiti di comfort, efficienza energetica e protezione antincendio?

Uno dei due elementi infrastrutturali, originariamente usato come ferrovia, andava riqualificato e convertito in un linear park, che sarebbe diventato un miglio dedicato alla cultura, lavoro e divertimento.

Questa riqualificazione avviò due decisivi impulsi urbanistici: il viadotto dall'essere una barriera spaziale diventa una struttura di connessione e gli spazi ad esso adiacenti vengono di conseguenza riqualificati.

Con il progetto «Im Viadukt», nelle 53 arcate del ponte sono sorti nuovi spazi organizzati in modo omogeneo per negozi, caffè e istituzioni sociali. Alla biforcazione con il viadotto Wipkingen è sorto anche il primo mercato coperto di Zurigo.

Gli architetti dello studio EM2N si sono adoperati per creare la cornice architettonica adatta. Il loro motto: immediatezza, semplicità, riduzione al minimo. Di

conseguenza i muri in pietra grezza sono rimasti a vista anche all'interno dei locali, in modo tale da esaltare il fascino crudo dell'opera e il caratteristico ambiente. Inoltre non hanno riempito completamente le arcate nella parte superiore affinché si possa vedere attraverso il viadotto e stabilire di conseguenza un collegamento visuale tra le due zone ai due lati.



Figura 57. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, foto esterno diurna e serale. Fonte: www.im-viadukt.ch

Impianti/Tecnologico

La tecnologia utilizzata è quella S/R. La struttura portante è ibrida in acciaio e legno: tra le capriate in acciaio sono tesi pannelli prefabbricati in legno con travi in legno lamellare integrati.

Lucernai a cupola sono inseriti nella membrana EPDM che riveste la copertura fortemente caratterizzata: i suoi segmenti discendenti e ascendenti si intersecano visivamente con i due viadotti. Il movimentato intradosso del tetto e i lucernai trasparenti fanno apparire gli spazi interni più ampi. L'intera illuminazione delle arcate di un bianco caldo, basata sul concetto di illuminazione urbana Plan Lumière, conferisce un aspetto alettante al viadotto anche di notte. Al posto delle lampadine giallo-arancio viene utilizzata una luce bianca più naturale e morbida, che mette in risalto le linee architettoniche. La luminosità non viene sprecata a discapito del cielo notturno. Le luci vengono schermate a regola d'arte, con un conseguente effetto positivo sull'inquinamento luminoso.

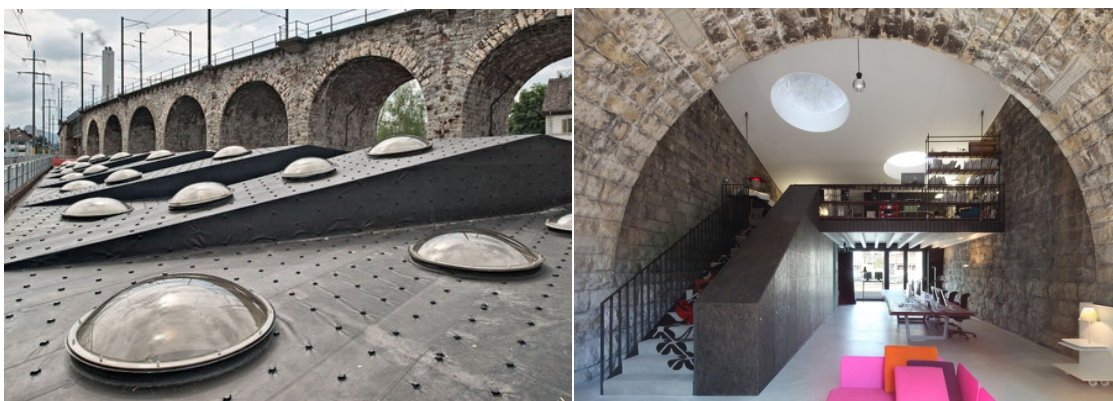


Figura 58. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, foto lucernai a cupola e interno. Fonte: www.im-viadukt.ch

CASO STUDIO N.3: Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi

Il viadotto articolato in 67 volte su un tracciato di oltre 1,5 km tra la Bastiglia e la rue Ramboillet apparteneva al tronco ferroviario Parigi-Strasburgo (Société des Chemins de Fer Paris, Strasbourg) inaugurato nel 1859 e dismesso dal 1969. Il progetto riguarda il restauro del viadotto, la creazione di una passeggiata alberata pensile al di sopra della via ferrata in disuso e la realizzazione di negozi e di locali espositivi per artigianato sotto le arcate.



Figura 59 Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, veduta d'insieme del viadotto. Fonte: www.leviaducdesarts.com

Architettonico

Seguendo il concetto di compenetrazione funzionale, unito alla volontà di preservare la consistenza formale e la continuità degli elementi di prospetto, Berger rende il vuoto sotto le volte completamente trasparente usando come tamponamento pannelli di vetro posti a due diversi arretramenti: la vetrina superiore rientra di 1,20 m per sottolineare lo spessore strutturale della volta, quella inferiore rientra di soli 35 cm in rispondenza alle norme di manutenzione e di sicurezza dei marciapiedi pubblici.

La struttura di facciata, di chiusura della volta e di sostegno del vetro, rappresenta l'aggiunta sostanziale che interpreta la leggerezza del debole spessore rispetto alla preminente e imponente preesistenza storica evidenziata attraverso la profondità dell'ombra.



Figura 60. Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, prospetto di un'arcata e vista dall'alto del viadotto con camminamento. Fonte: www.leviaducdesarts.com

Tecnologico/Impianti

La condizione di partenza imponeva la completa conservazione, utilizzazione e contenimento volumetrico a fronte dei necessari inserimenti tecnologici (impianti e

vani sgombero); questi ultimi sono stati inseriti in una galleria tecnica che a livello interrato costeggia in continuità il muro di fondazione della facciata più cieca, cosiddetta absidale, contrapposta a quella illuminata in corrispondenza delle arcate. Le funzioni statiche e rappresentative sono concentrate nella centina ribassata (arco a sesto molto ribassato) in legno e ferro che divide la vetrina inferiore adibita alle necessità espositive - commerciali da quella superiore a cui viene attribuita funzione di illuminazione-alleggerimento.

L'arco incastrato ai lati, all'altezza dell'imposta della volta, attraverso un leggero sostegno metallico, è irrigidito da quattro tiranti verticali in acciaio inox ancorati alle arcate secondo un disegno ripetitivo atto a designare la posizione dell'insegna pubblicitaria.

Con poche e semplici regole geometriche e cromatiche, come la centralità dell'insegna o la variabilità del colore dei montanti metallici del reticolo strutturale del serramento, si conferma l'omogeneità formale del prospetto.

Sostenibilità

Una promenade plantée di 4,7 km ha preso il posto della ferrovia riqualificando e valorizzando l'intera area. Questo percorso in quota, costruito a partire dal 1988 su progetto del paesaggista Jacques Vergely, regala oltre a bellissimi scorci della città di Parigi anche 6,5 ettari verdi ad una zona ad elevata densità urbana.

Per quanto riguarda l'illuminazione notturna del Viaduc des Arts si è utilizzato un sistema a led colorati con consumi energetici limitati.



Figura 61. Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, Arcate di giorno e illuminazione notturna. Fonte: www.leviaducdesarts.com

4.4 Il conceptplan e le scelte preliminari

Dopo aver condotto l'analisi FDOM e quella sui casi studio, si è passati alla rappresentazione grafica di tutto ciò che, per scelta, voleva essere potenziato, migliorato e riqualificato: questo processo è detto conceptplan.

Quest'ultimo contiene una descrizione grafica dell'idea forte su cui si basa l'intero progetto, congiuntamente alle debolezze che si vogliono contenere e ai fattori non negoziabili che vincolano il progetto e dai quali non si può prescindere.

Prima di passare all'elaborazione delle idee e degli obiettivi da raggiungere, sono stati definiti dei punti di partenza che per loro natura hanno definito delle essenziali limitazioni per questo progetto.

I suddetti sono rappresentati da tre elementi: il campo da calcio regolamentare, la nuova strada prevista dal PGT e la pista ciclabile del raggio verde.

Una volta determinati questi "vincoli" di partenza, sono stati individuati una serie di obiettivi ciascuno dei quali è stato abbinato ad una strategia per poterlo raggiungere, questi sono:

Connessione tra due aree divise

Come è stato già evidenziato nei capitoli precedenti, l'area di intervento si presenta divisa in due: l'ambito a nord è caratterizzato dal suggestivo affaccio sulle arcate ferroviarie storiche degli anni '30, le quali rappresenteranno il punto di forza di questo intervento. Ulteriori rilevanze saranno rappresentate dalla futura Piazza Conti, adiacente alla cascina storica, e da tutto il complesso tutt'ora in fase di costruzione del "Borgo Cascina Conti". L'ambito a sud si differenzia dal precedente grazie alla superficie di maggiori dimensioni, gran parte della quale sarà tuttavia destinata al campo da calcio regolamentare previsto dai piani di intervento del comune.³³ Il progetto intende quindi unire queste due vaste superfici creando uno spazio unico e omogeneo.

Per raggiungere tale obiettivo, ci si è concentrati sullo studio del tessuto urbano del quartiere di Greco, facente parte del sistema più ampio del comune di Milano. Quest'ultimo, come noto, possiede una conformazione radiocentrica, cioè vi sono strade che cingono la città radialmente e percorsi che, partendo da queste, convergono a raggiera verso il centro.

Analizzando l'area di interesse, si osserva che in corrispondenza del viadotto ferroviario la maglia della città cambia direzione, presentando una leggera inclinazione verso est; questo aspetto è emerso anche nelle analisi di inquadramento descritte nei capitoli precedenti.³⁴

Pertanto, l'approccio progettuale scelto, è stato quello di seguire un criterio di priorità, dettato da parametri puramente temporali. Il suddetto criterio ha quindi imposto il primo aspetto del quartiere con cui relazionarsi, ovvero quello di avere

³³ Si rimanda al paragrafo 1.2

³⁴ Si rimanda al paragrafo 2.3

una conformazione dinamica e quindi bidirezionale. Questo passo è stato decisivo per il disegno del verde e dei percorsi all'interno dell'area di intervento.



Figura 62. Schizzi progettuali dello studio morfologico del quartiere: bidirezionalità degli assi che percorrono l'area d'intervento, che ha determinato il disegno del verde e dei percorsi. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Il campo sportivo

Uno dei problemi riscontrati fin da subito, è stato la posizione del campo da calcio. Infatti, data la grande superficie occupata da questo (90x45 metri), e data la conformazione dell'area di intervento, che va a stringersi in corrispondenza della zona centrale, si sono varate diverse ipotesi sull'orientamento della struttura sportiva. Dopo diversi tentativi si è giunti alla conclusione che l'unica soluzione coerente con il contesto circostante, e che rendesse la lettura del progetto il più ordinata possibile, era quella di collocare il campo con il lato lungo a sud, e quello corto parallelo a Via delle Rimembranze di Greco.

Un nuovo fronte strada

Ci si è quindi concentrati sullo studio della morfologia del quartiere e delle sue caratteristiche, considerando le analisi di inquadramento effettuate in precedenza e descritte nei primi capitoli. Ne è emerso un aspetto decisivo, il quale ci ha portato a una delle scelte progettuali di maggior rilievo di questo intervento. Infatti, osservando gli isolati del quartiere e passeggiando per le sue vie, si nota che a nord del tracciato ferroviario, vi sono per lo più edifici residenziali con piano terra commerciale.³⁵ Al contrario, a sud del viadotto, prevalgono complessi abitativi con cortile interno. E' chiaro che la città più vissuta è senza dubbio la prima tipologia, la quale è situata all'interno del borgo storico di Greco, ossia dove le persone si relazionano e dove si percepisce il quartiere.

Pertanto, a seguito delle considerazioni fatte, si è pensato di far traslare questa idea di città vincente anche al di sotto della "ferita", rappresentata dall'infrastruttura ferroviaria che percorre l'intero quartiere. L'idea si è quindi

³⁵ Si rimanda alla tav. 2.09

concretizzata con il disegno di un "nuovo fronte strada" lungo Viale Rimembranze di Greco, il quale sarà destinato ad accogliere uno degli ingressi all'area.



Figura 63. Schizzo progettuale del nuovo fronte strada: la parte superiore della città con spazi commerciali è quella più vissuta e viene riproposta. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.

L'intervento sulle arcate

Il passo successivo alle analisi morfologiche del sito è stato quello di studiare il cuore di questo progetto ossia le arcate ferroviarie; l'intervento proposto prevede l'inserimento di "box" al di sotto dell'infrastruttura. L'idea è emersa a seguito di diverse considerazioni, ovvero quelle di sfruttare la peculiarità dell'area senza utilizzare altro suolo, intervenire con strutture separate dalla ferrovia, dare un assetto flessibile e adattabile a diverse esigenze. In base alle analisi fatte precedentemente si è poi passati a determinare la distribuzione funzionale di queste nuove strutture, la quale verrà analizzata in seguito.

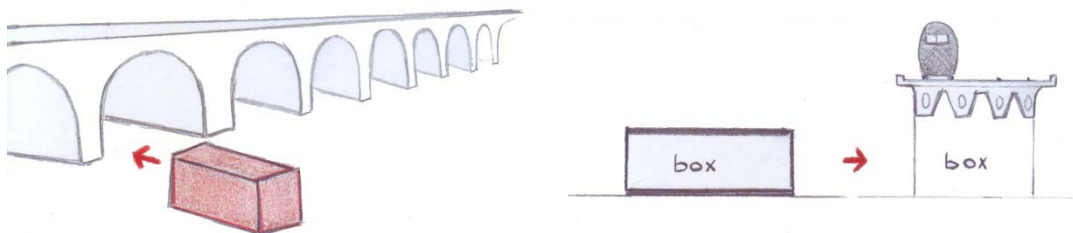


Figura 64. Schizzo progettuale elementi da inserire al di sotto delle arcate. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.

La nuova idea di parcheggio

Dai sondaggi di quartiere già descritti è emerso che, una forte criticità della zona di Greco, era sicuramente la mancanza di parcheggi. La tematica dei posti auto sarebbe comunque affiorata a fronte dell'affluenza di persone che durante gli eventi sportivi, usufruiranno delle tribune di cui sarà dotato il campo da calcio. A seguito di numerose analisi, si è quindi deciso di offrire un servizio di parcheggi che non sottraesse altro spazio al quartiere e alla città, evitando quindi la realizzazione di posteggi a raso, i quali andrebbero a sprecare dello spazio potenzialmente utile per

questo progetto. La soluzione è stata quindi offerta dai parcheggi automatizzati, i quali vengono realizzati in diversi paesi europei, ma in Italia sono ancora poco sviluppati.

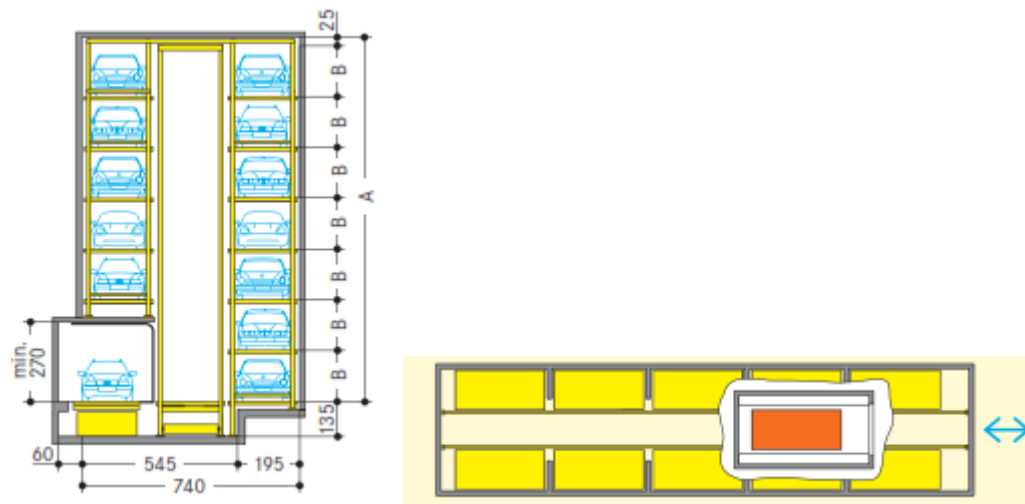


Figura 65. Schema funzionamento del parcheggio automatizzato. Fonte: scheda tecnica del parcheggio automatizzato tipo *Multiparker 740*.

Pertanto i nostri obiettivi sono stati: l'ottimizzazione dello spazio, e la disposizione in lunghezza dei posti auto, la quale si adatta perfettamente alle nostre esigenze. La struttura automatizzata sarà parte integrante del nuovo edificio su fronte strada, il quale si svilupperà con un piano terra commerciale, e quattro piani fuori terra adibiti a parcheggio. Ognuno di questi ospiterà 44 posti auto, per un totale di 176 posteggi.

Si riporta di seguito il conceptplan a conclusione delle analisi esposte in questo capitolo.

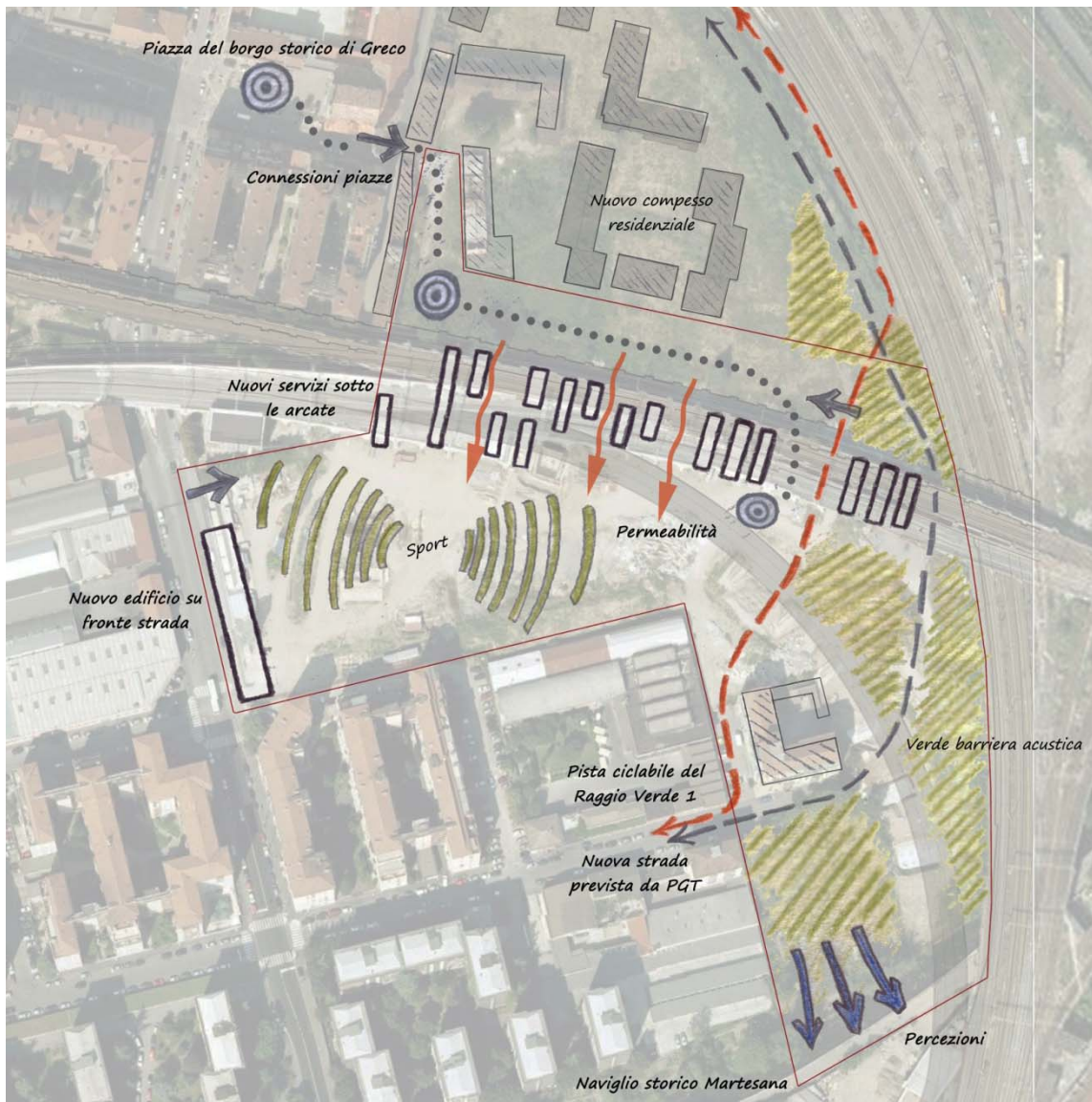


Figura 66. Estratto della tavola 4.02, *Conceptplan*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

CAPITOLO 5. IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Nel seguente capitolo si presenta inizialmente l'organizzazione funzionale-spaziale del progetto, la quale è stata definita tramite dei layers, che rappresentano schematicamente destinazioni d'uso, accessi, percorsi e aree verdi.

Si descrive in seguito la conclusione del processo progettuale complessivo con la definizione del masterplan, nel quale, alla grande scala, si osservano: la collocazione degli edifici, le forme architettoniche di massima, gli ingressi e i percorsi, conseguenza degli studi effettuati durante la stesura del conceptplan.

A seguire vengono riportate anche le scelte architettoniche degli edifici di nuova costruzione, con la descrizione a livello funzionale e distributivo.

5.1 Il masterplan e l'organizzazione funzionale-spaziale

Il passo successivo al conceptplan è stato la composizione dei layers funzionali. Questi vanno infatti a determinare in modo chiaro e schematico tutte le parti che andranno a comporre il masterplan in quello che sarà lo step successivo. Tale procedimento è stato fondamentale data l'estrema complessità e varietà dell'area, al fine di realizzare un intervento ordinato, su un'area che di per se si palesa confusionaria.

Si è quindi agito considerando le parti sostanziali del progetto, e per ciascuna di queste si è pensato ad una collocazione di massima senza entrare nel dettaglio architettonico. Tuttavia già in questa fase si sono analizzati dei riferimenti progettuali compatibili con la nostra idea di intervento.³⁶

Nuove attività

Gli interventi di nuova costruzione riguardano il fronte strada di Viale Rimembranze, un centro sportivo e le strutture al di sotto delle arcate. Come già detto in precedenza, la forte carenza di parcheggi ha portato alla decisione di inserire una struttura automatizzata che vada a scomparire nel tessuto urbano. Tale struttura farà parte del fronte strada già citato nel concept avente quindi duplice funzione, piano terra adibito al commercio e piani superiori destinati a questo tipo di parcheggio. Per quanto riguarda i servizi a supporto del campo da calcio si è pensato di affiancare alla tribuna un edificio, di dimensioni ridotte, che offrirà tutti i servizi necessari agli utenti sportivi.

In ultimo, si è pensato alle funzioni che le arcate potessero accogliere al loro interno. Come si nota dallo schema proposto, la strategia utilizzata è stata quella di offrire diversi servizi a supporto del quartiere. Infatti, utilizzando le risposte dei questionari proposti agli abitanti della zona, si è cercato di definire un intervento utile e usufruibile da utenti di ogni età. Il fatto di aver definito un fronte commerciale verso Viale Rimembranze, ha evitato l'inserimento di altri negozio

³⁶ Si rimanda alla tav. 5.01

verso questa parte dell'area. Tuttavia, considerando l'appartenenza all'antico Borgo di Greco, sono state definite alcune funzioni improntate sull'idea di artigianato, al fine di ripristinare quello che un tempo era stato il borgo storico, attribuendo per di più un carattere originale e importante all'intervento.

Le attività maggiormente presenti sono degli atelier per artisti o artigiani, in aggiunta si è pensato a spazi denominati Fab-Lab, i quali offrono qualsiasi tipo di strumentazione per realizzare oggettistica di ogni tipo. Si tratta infatti di una vera e propria officina usufruibile da chiunque, per dare sfogo a creatività e inventiva.

In aggiunta, sfruttando la conformazione delle arcate stesse, è stato possibile comporre una struttura più ampia rispetto a tutte le altre. Si sta parlando di un centro polifunzionale destinato a bambini, ragazzi e adulti; uno spazio ampio ben vivibile dove trascorrere il tempo libero. L'area sarà inoltre fornita di punti ristoro, bar e locali serali.

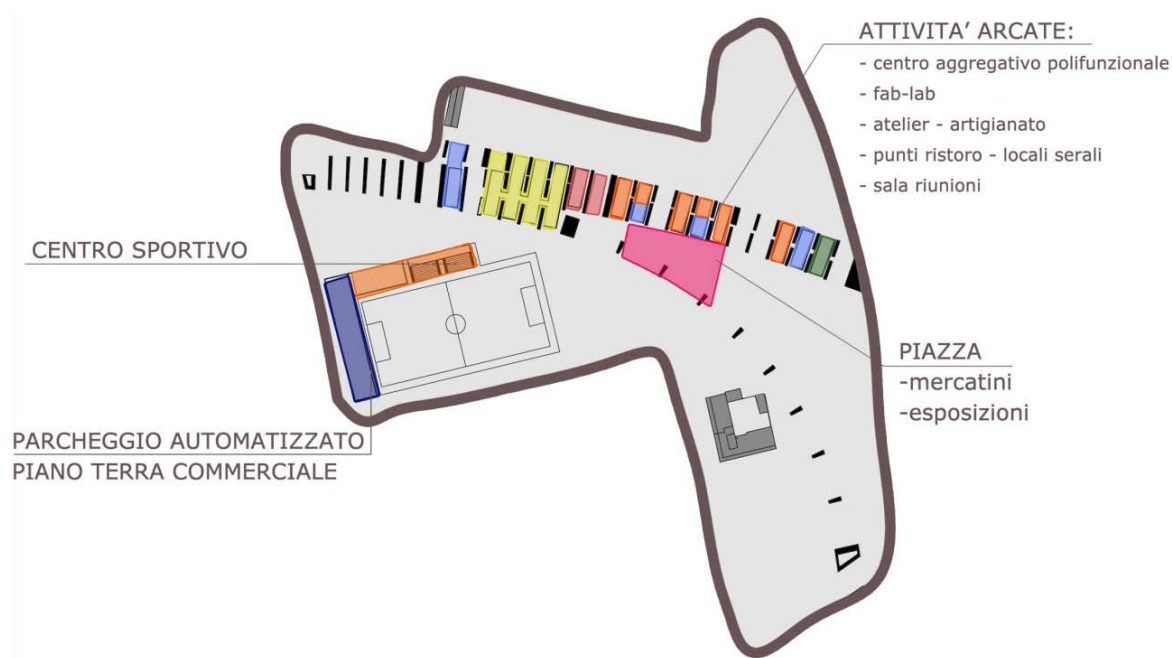


Figura 67. Layer nuove attività, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Spazi pubblici

Partendo dagli accessi pedonali all'area, questi risultano essere tre: il primo in corrispondenza di viale delle Rimembranze di Greco, il secondo in fondo a via Rho e il terzo lungo via Carlo Conti. Quest'ultimo coincide con il percorso rappresentato nel conceptplan, che viene attivato da tre piazze consecutive. Queste ultime sono: Piazza Greco, situata nel borgo storico e di fronte alla chiesa, la futura Piazza Conti, in progetto da PGT, ed infine lo spazio pubblico destinato a mostre ed esposizioni. Da Piazza Conti si innesta il percorso lungo le arcate storiche che raggiunge la piazza antistante le arcate del lato sud. Più a sud compare un ultimo spazio d'incontro in corrispondenza dell'affaccio sulla Martesana, questo è stato pensato come un luogo di relax e svago al fine di attribuire una giusta valenza a quest'area ad oggi molto degradata.

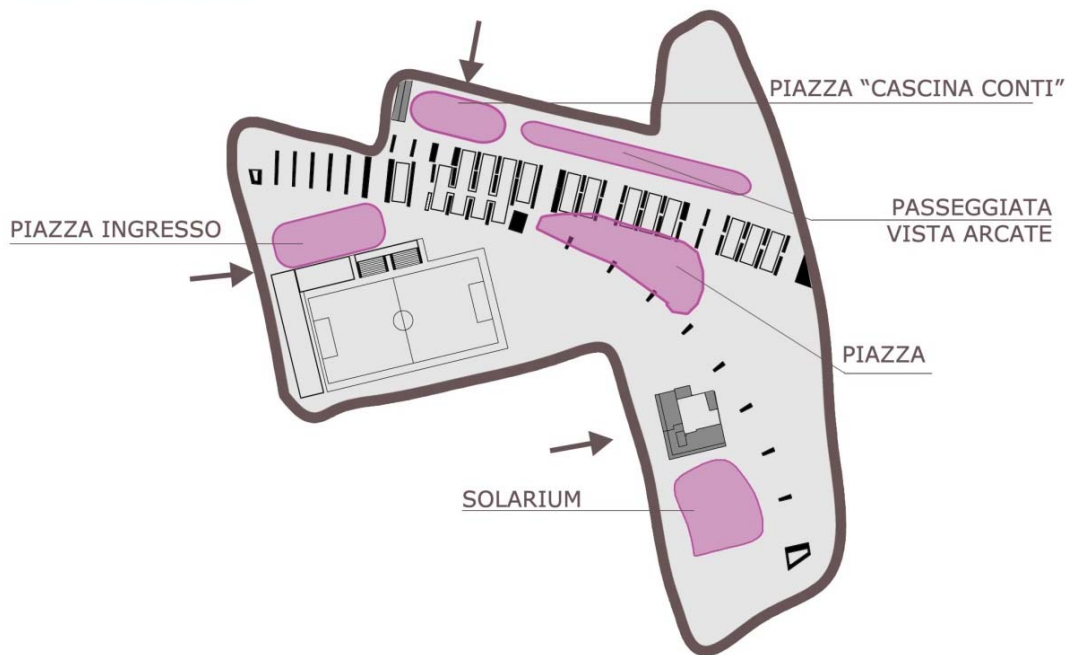


Figura 68. Layer spazi pubblici, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Viabilità e parcheggi

Come già descritto nel capitolo precedente, i parcheggi proposti in questo progetto sono automatizzati, ovvero strutture con un meccanismo mobile che preleva l'autovettura, la parcheggia e la restituisce in maniera autonoma.

Considerando la viabilità del progetto si possono distinguere due tipi di percorsi, quelli carrabili e ciclopedonali. I primi sono quelli già nominati nei primi capitoli, oltre che la nuova strada che andrà a tagliare, anche se marginalmente l'area del progetto. Un'ulteriore infrastruttura che percorre l'ambito di intervento è la pista ciclabile prevista dal PGT vigente. Quest'ultima rimane più interna rispetto alla strada e attraversa per gran parte della sua lunghezza l'area verde destinata a parco pubblico.

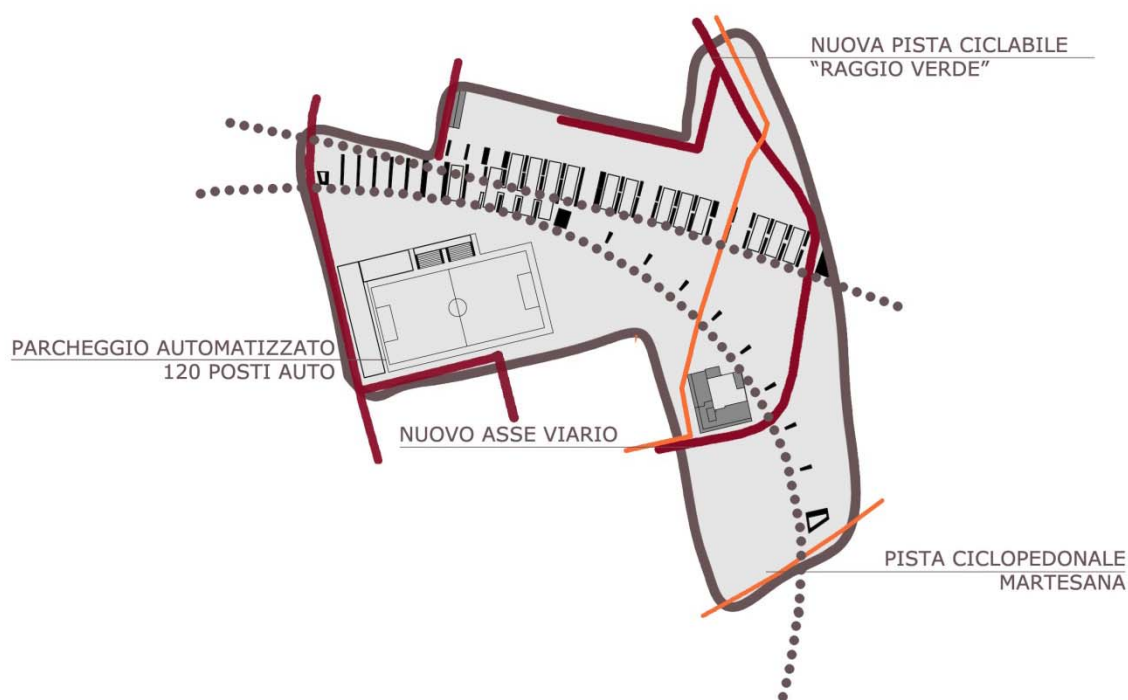


Figura 69. Layer viabilità e parcheggi, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Verde e acqua

Data la vasta entità dell'ambito progettuale, si è preferito trattare buona parte della superficie sfruttando le tematiche del verde e dell'acqua. Infatti, uno degli spazi aperti di ritrovo (accesso da Viale Rimembranza di Greco) viene sviluppato come "piazza verde", ovvero un luogo di ritrovo dove la percezione principale è quella della freschezza e del brio di una distesa di erba.

Nella parte più centrale dell'area invece, proseguendo lungo il campo da calcio, si presenta una distesa di verde, tratta in questo caso come parco vero e proprio. Infatti, vi saranno aree gioco dedicate ai bambini e spazi verdi più ampi di svago.

Nella parte sud-est dell'area, come già esposto nelle analisi preliminari, scorre il naviglio della Martesana, il quale comporterà una rilevanza all'interno della progettazione, poiché considerato un punto di forza importante. Attualmente l'ambito in questione si presenta molto degradato, infatti oltre ad essere un luogo poco frequentato, risulta essere poco pulito e in disordine. Pertanto l'idea è stata quella di una risistemazione totale del sito, in modo da rendere questo affaccio un punto di ritrovo e quindi di svago per le persone del quartiere e non solo, dato che il naviglio è costeggiato dalla pista ciclabile facente parte del raggio verde, in linea con gli obiettivi espressi dal PGT di Milano. In questo senso l'area potrebbe essere un punto di arrivo o comunque una zona di sosta e di relax sfruttabile al termine di una passeggiata o di un giro in bicicletta. Si è pensato di posizionare degli specchi d'acqua con percorsi e giochi vicino alla sponda della Martesana, in questo modo si è cercato richiamare il tema dell'acqua e quindi dare un senso di calma e tranquillità, evitando di interferire con le acque del canale storico.

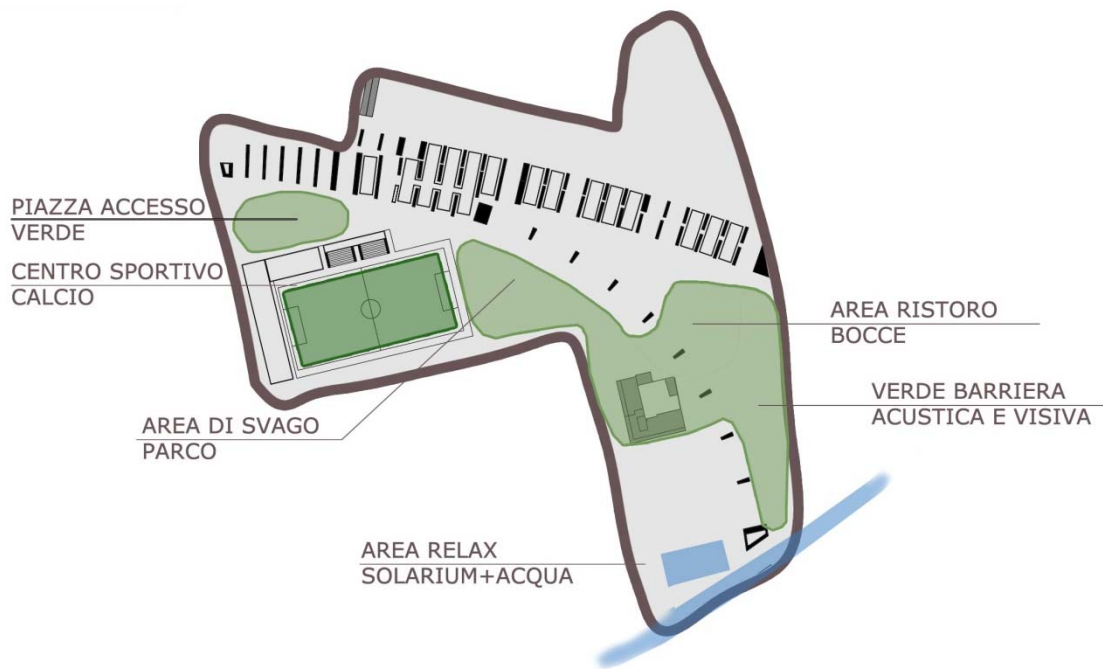


Figura 70. Layer verde e acqua, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

5.2. Il masterplan e le linee architettoniche generali

I punti descritti nel paragrafo precedente sono stati sviluppati, passando quindi al disegno definitivo del masterplan. Di seguito vengono riportate le scelte architettoniche seguite nella stesura dello stesso, dopo aver preso in considerazione i riferimenti sopra citati.

L'intervento nell'area nord è stato la realizzazione del disegno di Piazza Conti, con il percorso adiacente alle arcate storiche; mentre nella parte sud sono state studiate le configurazioni della piazza antistante alle arcate e di quella affiancata al campo sportivo. Piazza Conti viene caratterizzata da un disegno geometrico, delineato da fasce monocolori le quali corrispondono agli assi che partono dai piedritti delle arcate. Vi è poi un'altra serie di fasce, perpendicolari alle prime che vanno a concludere il progetto dello spazio aperto; il risultato è uno schema squadrato e regolare. Il percorso lungo le arcate degli anni '30 avrà la stessa logica della Piazza Conti, tuttavia si è pensato di abbandonare lo schema geometrico, sviluppandone uno più longitudinale, che desse quindi un senso di passeggiata e non di un luogo dove stazionare. L'accesso da Viale Rimembranze invece è stato trattato con una logica differente, infatti si è voluto dare più respiro e spazi verdi, in modo tale che l'ingresso all'area dia l'idea o comunque una prima percezione del parco che si svilupperà più all'interno. Il nostro scopo è quindi stato quello di offrire un luogo dove poter stazionare, ad esempio al termine delle partite di calcio, e dove poter usufruire anche degli spazi verdi che lo caratterizzano.

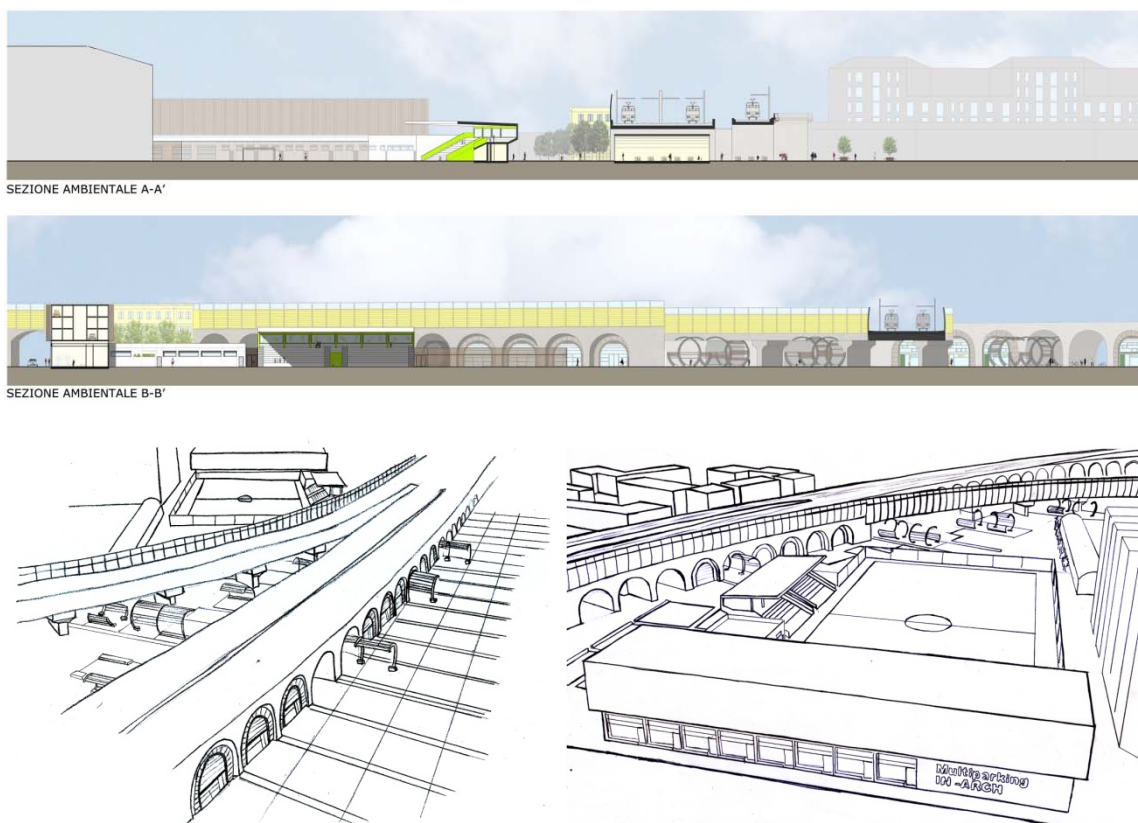


Figura 71. Sezioni ambientali e schizzi progettuali, stralcio della tavola 5.03, *Sezioni ambientali -schizzi progettuali*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Di seguito si riportano i riferimenti seguiti per la composizione di piazza Conti e di quella su Viale Rimembranze.



Figura 72. Place des Droits de l'homme, B+C ARCHITECTS, Tremblay en France, Francia. Fonte: www.europaconcorsi.com

Figura 73. Koenig Heinrich Averdunk Platz, Agence Ter, Duisberg, Germania. Fonte: www.europaconcorsi.com

Per quanto riguarda i percorsi, una problematica riscontrata è stata la presenza di un edificio dismesso a sud, adiacente con l'area in questione. Il fabbricato verrà sicuramente schermato dalla vegetazione del nuovo parco, in aggiunta, considerando i percorsi all'interno dello stesso, si è pensato di non terminarli in maniera netta e disorganica, bensì di sfumare questi man mano ci si avvicina al costruito abbandonato. Dunque i camminamenti, dapprima ben visibili e netti, vanno indebolirsi e a scomparire man mano si prosegue lungo gli stessi verso sud. Questa logica è stata ripresa dal progetto dell'High Line di New York, il verde è infatti sviluppato in direzione longitudinale, evitando tagli netti nelle parti terminali, restringendo al contrario queste ultime facendole smorzare in maniera omogenea.

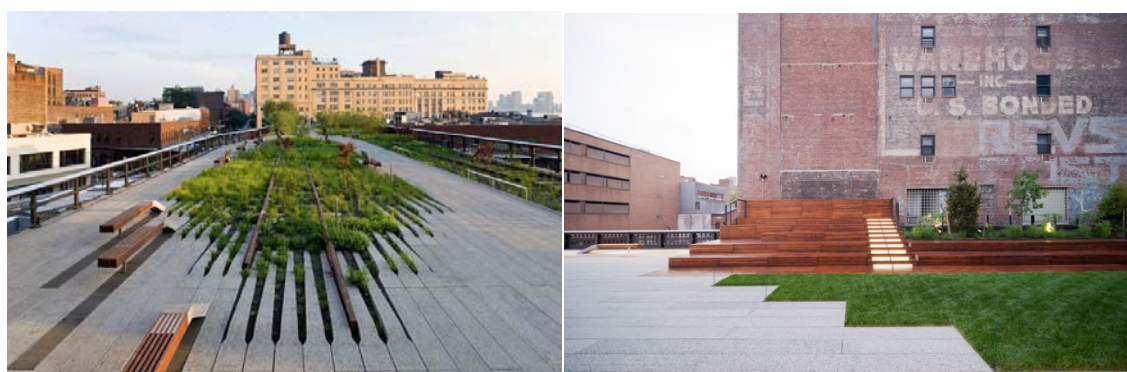


Figura 74. High Line, James Corner Field Operations, Diller Scofidio+Renfro, New York City. Fonte: www.europaconcorsi.com

Come è stato già accennato nelle analisi funzionali l'affaccio sul Naviglio della Martesana ospiterà un punto di relax e svago caratterizzato dalla presenza di specchi d'acqua e verde.



Figura 75. Preureditve nabrezij in mostovi na Ljubljani, Boris Podrecca, ATELIER ARHITEKTI, Ljubljana, Slovenia. Fonte: www.europaconcorsi.com

Analizzando l'intervento al di sotto delle arcate, si è pensato di inserire elementi modulari, caratterizzandoli tramite l'uso di rivestimenti colorati che rendano il percorso lungo le arcate storico una passeggiata piacevole a singolare.

Infine, il nuovo edificio su fronte strada è caratterizzato da un piano terra commerciale e quattro piani superiori adibiti a parcheggi automatizzati. Questi ultimi si presentano come strategia innovativa per risolvere l'importante problematica determinata dalla carenza di parcheggi nel quartiere. Il fronte sarà caratterizzato dall'aver una sorta di continuità con il centro sportivo citato nel paragrafo precedente; questo fa sì che il nuovo intervento sia ben riconoscibile e si presenti armoniosamente con tutte le parti del progetto.



Figura 76. Masterplan quota ferrovia, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore










- | | | | |
|---|-------------------|--|-----------------|
|  | Centro ricreativo |  | Parcheggio |
|  | Bar-ristorazione |  | Centro Sportivo |
|  | Fab-lab |  | Sala riunioni |
|  | Atelier | | |

Figura 77. Masterplan quota zero, stralcio della tavola 5.02, *Masterplan e nuove funzioni.*
Fonte: elaborazione grafica dell'autore

5.3 Il recupero delle arcate: il centro aggregativo e gli spazi commerciali

Dopo aver sviluppato il masterplan dell'intera zona sono state individuate due aree di intervento, la prima lungo le arcate degli anni '30 in corrispondenza della nuova passeggiata e del complesso residenziale in costruzione Borgo Cascina Conti, la seconda relativa all'accesso su via Rimembranze di Greco dove verranno collocati i nuovi edifici del parcheggio automatizzato e del centro sportivo.

Nel seguente paragrafo vengono descritte le scelte architettoniche e compositive relative all'intervento sull'esistente, ovvero sulle arcate.

Scelte architettoniche e compositive

Le scelte sono state guidate dalla volontà di esaltare ed evidenziare la forte identità delle arcate, senza però lasciarsi schiacciare dal peso dell'infrastruttura che già connota l'area di progetto e l'intero quartiere di Greco. La sfida era quella di trasformare l'infrastruttura ferroviaria da fattore di disturbo a punto di forza, rendendola vivibile e accessibile a tutti gli abitanti della zona.

Nel paesaggio urbano le arcate si fanno notare e riconoscere per la loro solennità, esaltata dalla simmetria dell'arco e dalla loro modularità. Come intervenire? La volontà è stata quella di dialogare con l'esistente senza negare la sua forte caratterizzazione. L'intervento consiste quindi in una "tamponatura" leggera in contrasto con la massiccia natura del viadotto. La scelta di una tamponatura trasparente è stata dettata, oltre che dalla volontà di contrapporsi all'esistente, dall'orientamento. La facciata principale, quella in corrispondenza della nuova passeggiata e del complesso residenziale, si trova infatti a nord e rimane in ombra.

La necessità di mantenersi staccati dall'infrastruttura per motivi di sicurezza e per problemi di vibrazioni ha suggerito la scelta di adottare una struttura completamente indipendente e svincolata dall'esistente. I moduli inseriti sotto le arcate sono staccati di circa un metro dalle pareti e, in facciata, arretrati rispetto al piano delle arcate. Il gap che si va a formare viene tamponato con una rete microforata con struttura a raggiera, questa conferisce alle nuove strutture un aspetto singolare, quasi a sembrare una serie di soli.



Figura 78. L'uso della rete nel progetto di Dubosc e Landonsky *Les Arches* a Issy-les-Moulineaux in Francia. Fonte: www.blogarchiphot.com

I due elementi che ricorrono in tutte le arcate e che rendono riconoscibile l'intervento sono, la raggiera della struttura della rete e la scansione orizzontale delle facciate. I serramenti delle facciate vetrate infatti scandiscono orizzontalmente le facciate e, infittendosi verso l'alto, slanciano la facciata e l'intera arcata.

Il rischio con cui fin da subito ci si è scontrati era che l'intervento fosse monotono a causa della ripetibilità che caratterizza l'infrastruttura. Si è scelto quindi di differenziare le arcate attraverso l'uso del colore, differente a seconda della funzione ospitata dall'arcata, enunciata anche dalle scritte, e da alcuni accorgimenti che variassero la facciata. Si è voluto in questo modo dare unità all'intero prospetto e conferire da una parte una connotazione architettonica più marcata, dall'altra un aspetto più moderno e attuale.

Laddove la funzione ospitata richiedeva una totale trasparenza, la facciata è stata lasciata completamente vetrata, come nel caso del centro aggregativo, mentre per i bar e gli atelier, si è scelto di tamponare la porta d'ingresso e per questi ultimi di renderli riconoscibili con un grande numero. Per quanto riguarda fab-lab e sala riunioni si è scelto di tamponare la parte inferiore e lasciare vetrata solo quella superiore.

Come già detto, l'intervento sulle arcate vuole rimettere assieme le due parti dell'area, questo senso di cucitura è reso esplicito dal modo in cui si è scelto di trattare i passaggi. Questi ospitano una struttura in acciaio dalla forma tondeggiante, che ben si adatta alla geometria delle arcate, la quale viene tuttavia integrata con degli inserti in lamiera microforata colorata. Questi elementi permettono di far vedere l'interno dell'arcata e fuoriuscendo da entrambi i lati del viadotto sono ben visibili e riconoscibili e enfatizzano il senso di cucitura. Queste nuove strutture completano l'arredo urbano dell'area, svolgendo infatti la funzione di illuminazione, sedute e spazi ombreggiati.



Figura 79. Vista della piazza tra i due tracciati ferroviari con i passaggi pedonali, tavola 5.15, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

I due prospetti, nord e sud, sono trattati pressoché allo stesso con l'unica eccezione del sistema di schermatura. A sud sono previsti dei frangisole fissi, integrati alla struttura del serramento, in modo da non alterarne l'aspetto. La diversa altezza del nuovo viadotto, inferiore a quella delle arcate storiche, ha fatto sì che i moduli inseritivi al di sotto siano anch'essi di altezza ridotta. Altra nota che differenzia i due prospetti è la presenza di verde rampicante su parte del viadotto a sud. Il verde copre il cemento a vista del viadotto e movimentata il prospetto, che a differenza del lato nord non presenta alcun tipo di decorazione.



Figura 80. Stralcio della tavola 5.12 a, *Prospetto nord*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore



Figura 81. Stralcio della tavola 5.13 a, *Prospetto sud*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Organizzazione funzionale e spaziale del centro ricreativo

Si sono già descritte precedentemente le funzioni che andranno a caratterizzare la nuova area, di seguito verranno analizzate organizzazione funzionale e spaziale di ognuna di esse.

Lo spazio aggregativo polifunzionale *IN ARCH* è stato pensato come un luogo d'incontro per tutti gli abitanti del quartiere, un centro in cui poter trascorrere il tempo libero, un luogo di incontro e di scambio di idee.

Il centro, a cui vi si accede direttamente dalla nuova piazza della Cascina Conti, a sud, è l'unico a non avere una pianta a sviluppo longitudinale, bensì ha una forma a "doppio pettine" che si sviluppa lungo un corridoio centrale, perpendicolare allo sviluppo delle arcate (quattro ali a nord, un corridoio e quattro ali a sud). Infatti, solo in questo punto del viadotto era possibile collegare tra di loro i diversi moduli inseriti sotto le arcate e collocarvi quindi una funzione adeguata.

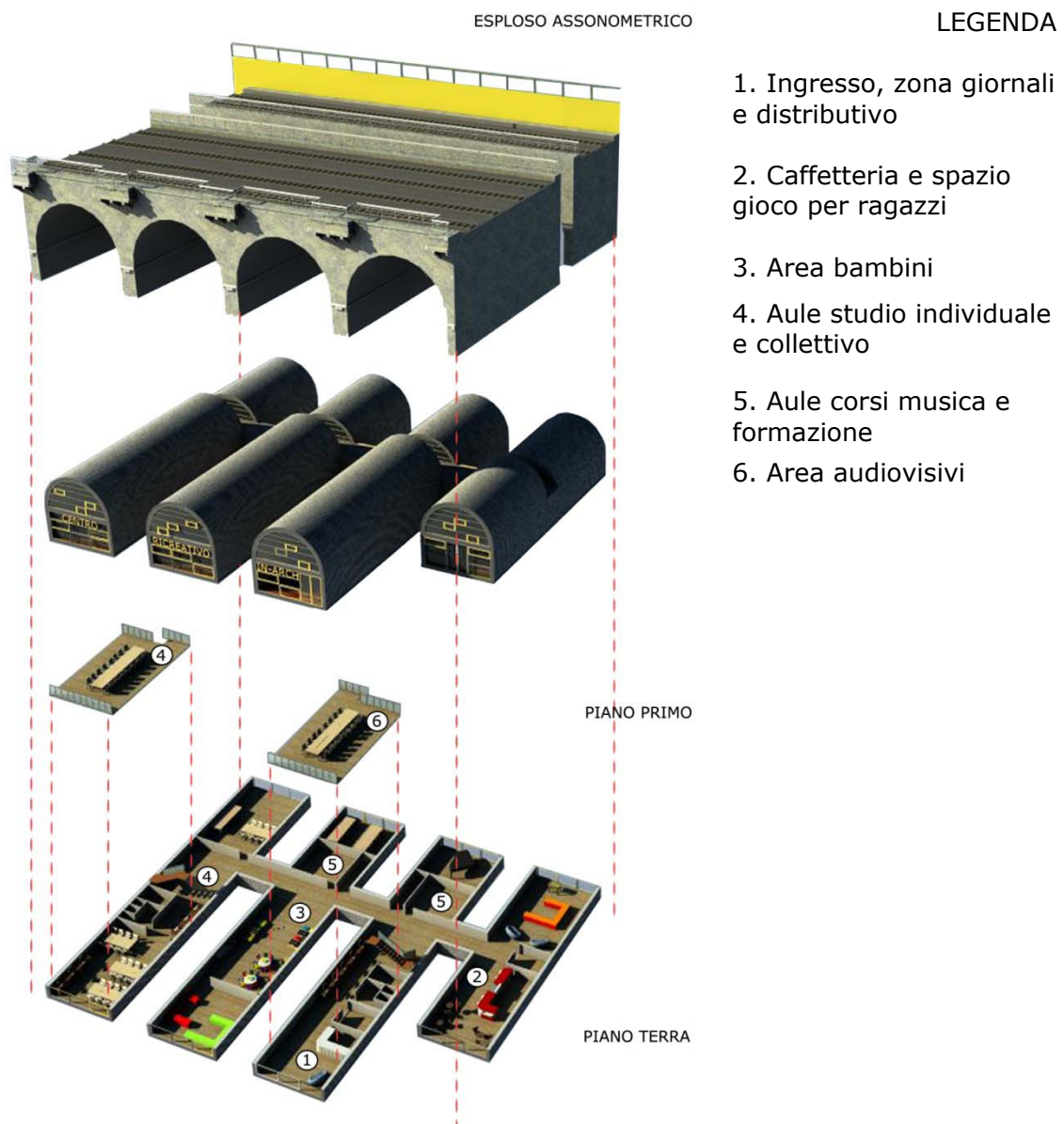


Figura 82. Schema funzionale-spaziale del centro aggregativo, stralcio della tavola 5.04, *Organizzazione funzionale centro IN-ARCH*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

L'ingresso è collocato centralmente in corrispondenza della seconda arcata. All'accesso si trova il grande bancone della reception, dietro il quale è collocato il back office. Proseguendo oltre la reception si incontrano le postazioni computer e un luogo per la sosta, di fronte al quale sono situati i servizi. Al termine di quest'ala, in prossimità del corridoio si trova la scala per accedere al soppalco. Al piano superiore si trovano lo spazio audiovisivi e quello dedicato alla lettura di riviste e giornali. Al piano terra proseguendo oltre il corridoio si trovano due aule dedicate alla musica, una sala prova e una sala corsi.

La terza ala a sud è completamente ad uso dei bambini e si configura come un grande open space colorato, destinato al gioco e nel quale si distinguono due aree, una per i bambini di età inferiore ai 4 anni, più raccolta e protetta, e una per bambini di età compresa tra i 5 e 10 anni. Oltre il corridoio, a nord, si trovano due aule per corsi e laboratori, una predisposta per corsi più teorici e l'altra per laboratori manuali.

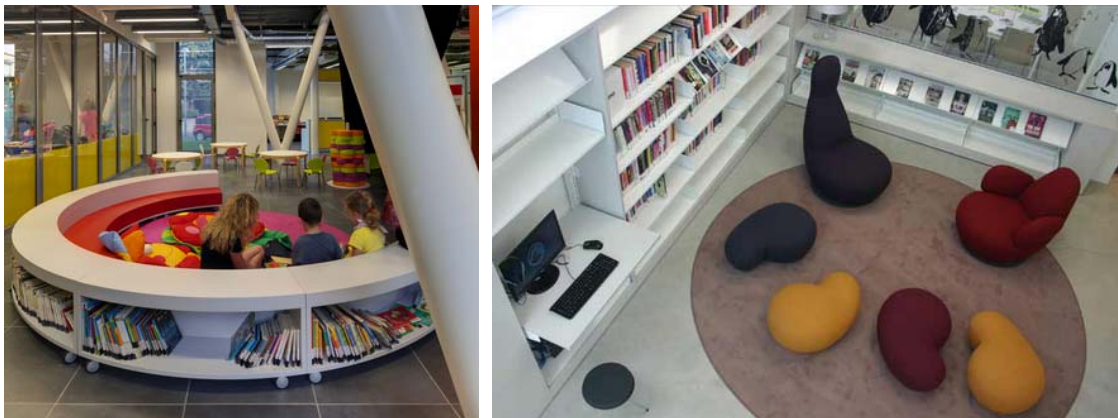


Figura 83. Due immagini che rimandano agli interni del centro polifunzionale. Nella prima l'area dedicata ai bimbi della biblioteca *BLA* a Fiorano Modenese (Areaprogetti). Fonte: www.europaconcorsi.com

Figura 84. La *Medateca* a Meda (Aleterstudio). Fonte: www.europaconcorsi.com

In fondo al corridoio, a metà della quarta ala, si trova un altro blocco servizi, a sud si trova un grande spazio a disposizione per lo studio collettivo, con tavoli di grandi dimensioni, alcune postazioni computer e le scale per accedere al soppalco. Al piano superiore è presente una sala per lo studio individuale, così come al piano inferiore nell'ala nord.

Tornando oltre l'ala d'accesso, si trovano a sud, la zona ristoro-tavola fredda, con un grande bancone, dietro al quale è collocata la cucina e il locale tecnico; alla caffetteria è possibile accedere direttamente dalla nuova piazza della Cascina Conti, passando attraverso una zona di filtro semiaperta, una sorta di "giardino coperto" ovvero l'arcata. A nord, dall'altro lato del corridoio si trova un'area relax-gioco, dedicata a ragazzi di età superiore a 10 anni.³⁷

³⁷ Si rimanda alle tavv. 5.05 e 5.06

LEGENDA

1. Ingresso, 44mq
2. Back office, 9mq
3. Internet point, 26 mq
4. Riviste e giornali, 35 mq
5. Servizi, 30 mq
6. Area relax-gioco, 64 mq
7. Area bambini 0-3, 45 mq
8. Area ragazzi, 82 mq
9. Sala prove, 57 mq
10. Giardino coperto, 80 mq
11. Caffetteria, 64 mq
12. Locale tecnico, 9 mq
13. Aula laboratori, 57 mq
14. Studio collettivo, 80 mq
15. Studio individuale, 128 mq
16. Audiovisivi, 31 mq

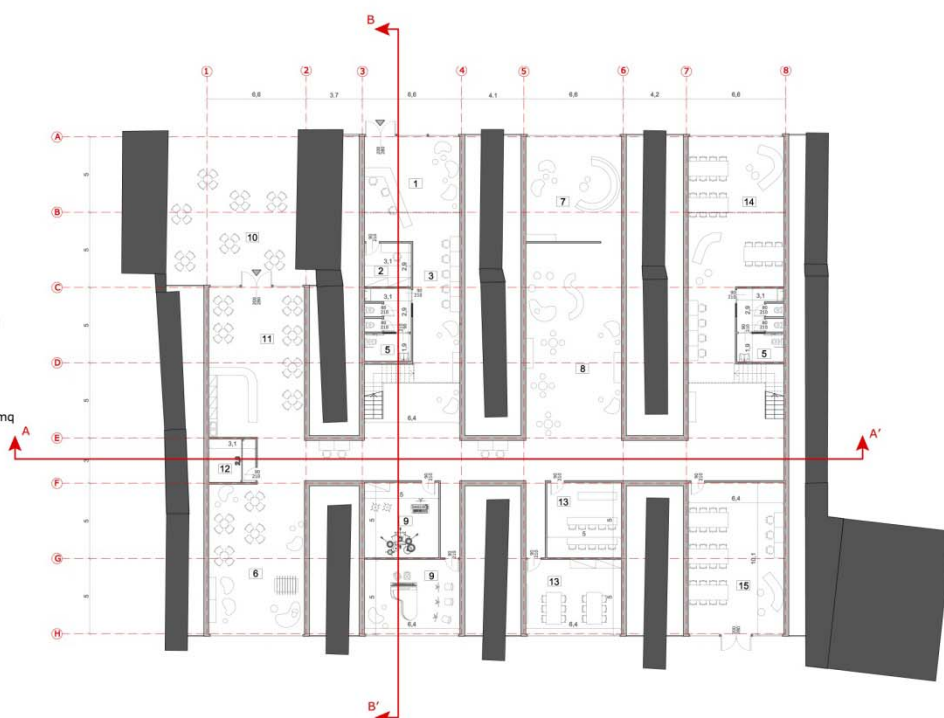


Figura 85. Pianta piano terra del centro ricreativo, stralcio della 5.05, *Pianta piano terra centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

LEGENDA

1. Ingresso, 44mq
2. Back office, 9mq
3. Internet point, 26 mq
4. Riviste e giornali, 35 mq
5. Servizi, 30 mq
6. Area relax-gioco, 64 mq
7. Area bambini 0-3, 45 mq
8. Area ragazzi, 82 mq
9. Sala prove, 57 mq
10. Giardino coperto, 80 mq
11. Caffetteria, 64 mq
12. Locale tecnico, 9 mq
13. Aula laboratori, 57 mq
14. Studio collettivo, 80 mq
15. Studio individuale, 128 mq
16. Audiovisivi, 31 mq

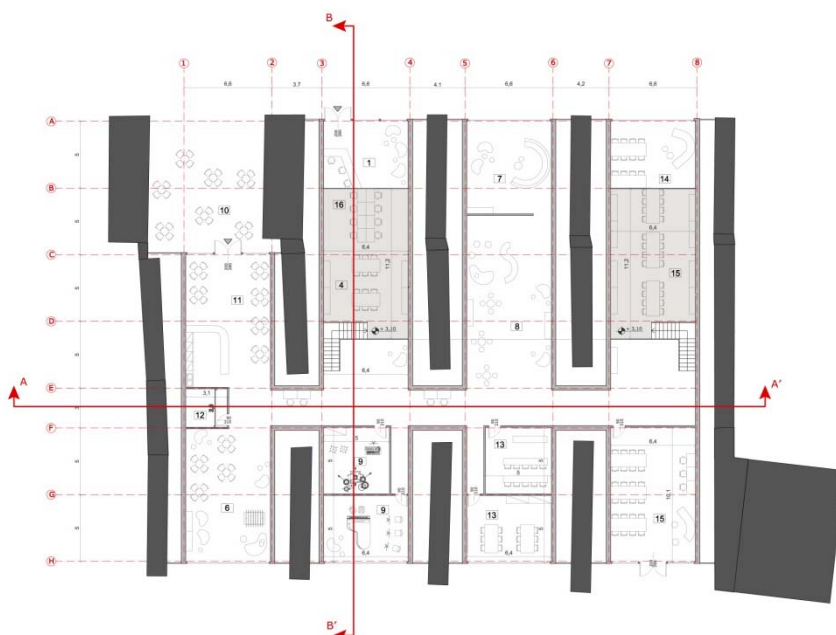


Figura 86. Pianta piano primo del centro ricreativo, stralcio della 5.06, *Pianta piano primo centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore



Figura 87. Sezione longitudinale B-B' del centro ricreativo, stralcio della tavola 5.14, *Sezioni centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore



Figura 88. Sezione trasversale A-A' del centro ricreativo, stralcio della tavola 5.14, *Sezioni centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore



Figura 89. Vista del centro ricreativo IN-ARCH, tavola 5.15 a, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 90. Vista del centro ricreativo IN-ARCH lato sud, tavola 5.15 b, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Organizzazione funzionale e spaziale dei moduli

Per quanto riguarda l'organizzazione spaziale dei moduli inseriti al di sotto delle singole arcate si è scelto di seguire come linee guida la modularità, ripetibilità e flessibilità della pianta. Le strutture infatti hanno tutte le stesse dimensioni, misurano in pianta 7x20 m e in altezza 6,60 m o 6,40. I pilastri sono posizionati ogni 5 metri, rendendo possibile una suddivisione della pianta in quattro parti.

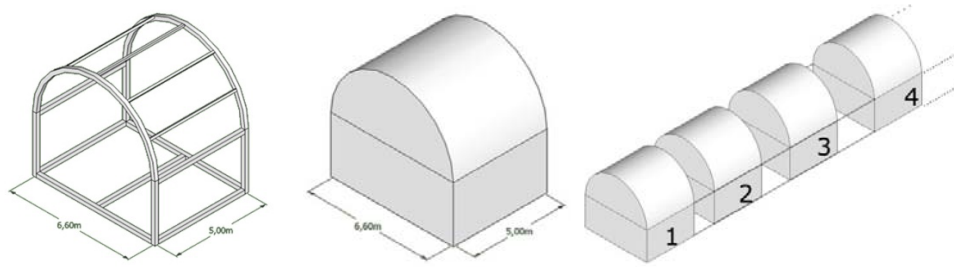


Figura 91. Schema di studio della flessibilità costruttiva, stralcio della tavola 5.08, *Organizzazione spaziale - funzionale moduli*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Sono state individuate e studiate sei possibili tipologie di piante, a seconda della funzione scelta. Le piante con andamento longitudinale sono caratterizzate da una suddivisione semplice e regolare dello spazio. All'interno di esse sono stati individuati quattro diversi moduli scatolari per i diversi ambienti chiusi:

1. Modulo magazzino: superficie 9,90 mq
2. Modulo bagno privato: superficie 16, 50 mq (bagno accessibile ai diversamente abili 6,60 mq + ripostiglio 9,90 mq)
3. Modulo bagno accessibile ai diversamente abili: superficie 6,60 mq
4. Modulo cucina: superficie 9,90 mq.

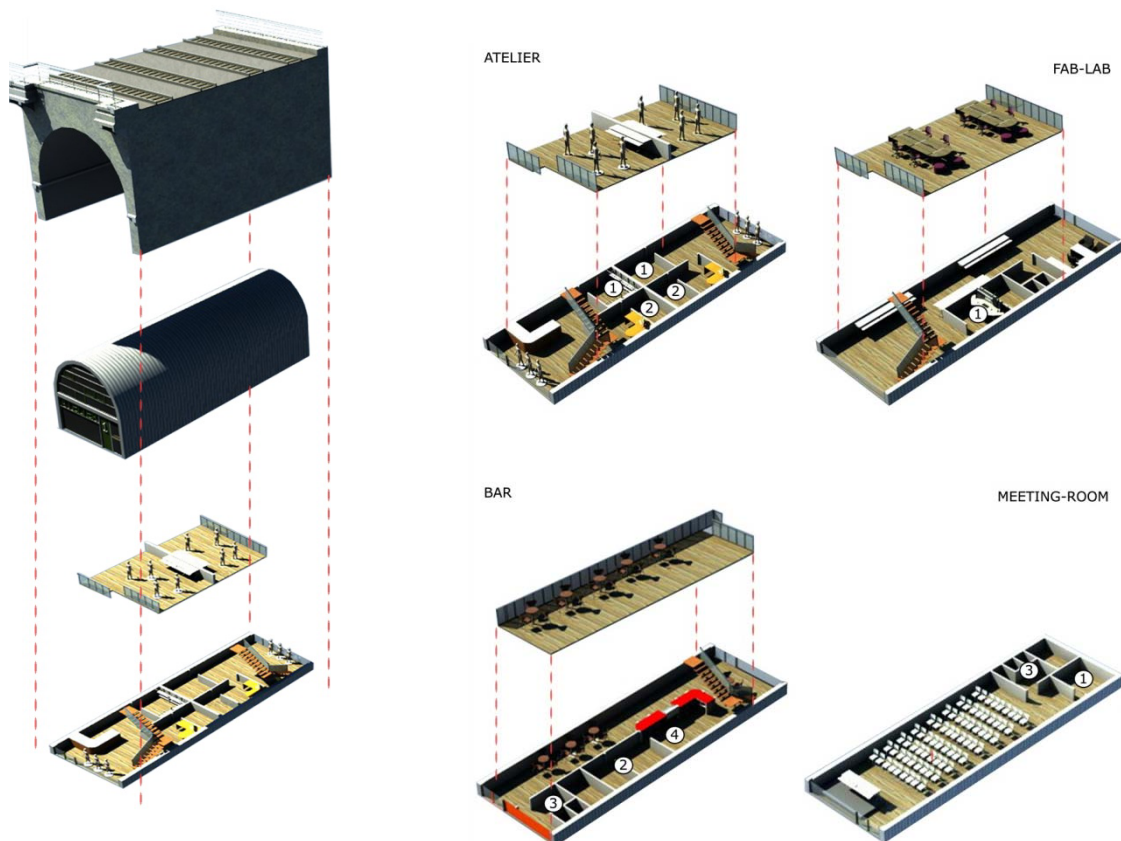


Figura 92. Esploso assometrico e schema funzionale, stralcio della tavola 5.08, *Organizzazione spaziale - funzionale moduli*. Fonte: Elaborazione grafica dell'autore.

La prima tipologia studiata è quella relativa all'atelier-negozio di artigianato. Ogni modulo contiene due atelier identici tra di loro, ognuno di 7x10 m. L'atelier si sviluppa su due piani. L'ingresso avviene al piano terra, l'ambiente è diviso in due spazi, il primo dove è possibile acquistare gli oggetti prodotti dall'artigiano con gli spazi espositivi e il punto vendita, il secondo con i due locali privati, il modulo magazzino e quello bagno con locale di servizio. Dal piano terra tramite una scala a "L" si accede al soppalco, luogo dedicato all'artigiano, dove lavora alle sue creazioni.³⁸



Figura 93. Nell'immagine gli interni degli Atelier progettati da Dubosc e Landowsky. Fonte: www.blogarchiphot.com

Una seconda tipologia presa in esame è quella del fab-lab, funzione innovativa, che come già spiegato consiste in uno spazio dedicato all'ideazione e alla realizzazione di piccoli e grandi progetti. Il fab-lab nasce come un luogo aperto a tutti, dove è possibile attraverso lo scambio e la circolazione del sapere realizzare nuove idee. Si è pensato quindi a un grande openspace, sviluppato su due piani. Al piano terra, oltre ai due moduli bagno e magazzino, sono presenti i piani di lavoro e le strumentazioni necessarie per la fabbricazione, il piano primo invece è dedicato all'ideazione, qui sono presenti alcune postazioni computer e tavoli per il co-working.³⁹



Figura 94. Il fab-lab di Barcellona. Fonte: www.fablabbcn.org

Come emerso dai sondaggi fatti tra la popolazione del quartiere, la cittadinanza richiedeva luoghi di incontro e svago. Si è analizzata quindi una terza tipologia, quella del bar. Per questa tipologia sono state sviluppate due diverse piante, la prima a due piani, la seconda di solo un piano (situata sotto le arcate a sud di

³⁸ Si rimanda alla tavola 5.09 a

³⁹ Si rimanda alla tavola 5.09 a

altezza inferiore). In entrambe le piante, sono presenti il modulo relativo ai servizi igienici, accessibile ai disabili, il modulo cucina e quello bagno con locale di servizio privato. Lo sviluppo longitudinale ha fatto sì che i tre locali chiusi fossero posizionati lateralmente e uno accanto all'altro in modo da sfruttare al meglio lo spazio disponibile.⁴⁰



Figura 95. Interni del ristorante *Im Viadukt* a Zurigo. Fonte: www.zuerich.com

Altra tipologia studiata è quella della sala riunioni, uno spazio flessibile utilizzabile all'occorrenza dagli abitanti del quartiere per incontri o iniziative pubbliche e/o private. La pianta è molto semplice, gli unici spazi chiusi sono le due unità magazzino e servizi, collocati a sud. Accanto all'ingresso a nord è posizionato il piccolo palco rialzato.⁴¹

L'ultima tipologia presente è composta dal modulo già studiato dell'atelier e un'altra tipologia, quella del pub. Per quanto riguarda l'atelier si rimanda alla descrizione fatta precedentemente, mentre il pub è pensato come un piccolo locale, dalla parte opposta all'ingresso si hanno il modulo dei bagni per il pubblico e accanto a questo, dietro il bancone il modulo privato con bagno e locale di servizio.⁴²

⁴⁰ Si rimanda alla tavola 5.09 b

⁴¹ Si rimanda alla tavola 5.09 b

⁴² Si rimanda alla tavola 5.09 b



Figura 96. Vista della promenade commerciale lungo le arcate storiche, tavola 5.15 c, *Viste*.
Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Verifiche delle normative: accessibilità ed antincendio

Nel seguente paragrafo vengono riportate le verifiche eseguite a livello di accessibilità e di sicurezza al fuoco.

Sempre più importante nell'ambito della progettazione è l'attenzione verso i diversamente abili. Il progetto si propone dunque di garantire praticabilità, fruibilità e completa accessibilità a tutta la collettività. La composizione degli utenti del centro aggregativo e degli spazi commerciali situati sotto le arcate è sicuramente molto ampia, per questo motivo si è prestata particolare attenzione nella progettazione di spazi che, per nessun motivo, potrebbero e dovrebbero escludere un qualsiasi tipo di utenza. La linea guida del "design for all" è stata seguita durante la progettazione di tutti gli spazi.

La base a cui far riferimento sono le norme dettate dalle leggi in materia di accessibilità, in particolare si fa riferimento al DPR 24 luglio 1996, n. 503 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici"; con richiami al DM 14 giugno 1989, n. 236 ""Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.".

Del secondo DM si riportano, sintetizzati i minimi e le condizioni che hanno regolato la progettazione:

Accessi e percorsi orizzontali:

- Porte: luce netta minima della porta di accesso di ogni edificio e di ogni unità immobiliare deve essere di almeno cm 80; quella delle altre porte deve essere di almeno cm 75, l'altezza della maniglia deve essere compresa tra 85 e 96 cm (consigliata cm 90).

- Corridoi, percorsi: larghezza minima 100 cm non devono presentare variazioni di livello; in caso contrario devono essere superate mediante rampe. Si devono prevedere ogni 10 metri allargamenti atti a consentire l'inversione di marcia e la larghezza del corridoio deve comunque essere tale da garantire il facile accesso, per una persona con sedia a rotelle, alle unità ambientali da esso servite.

Servizi igienici:

Criteri generali: Devono essere garantite le manovre di una sedia a rotelle necessarie per l'utilizzazione degli apparecchi sanitari. Deve essere garantito lo spazio necessario per l'accostamento laterale della sedia a rotelle alla tazza WC e, ove presenti, al bidet, alla doccia, alla vasca da bagno, al lavatoio, alla lavatrice. Deve essere garantito lo spazio necessario per l'accostamento frontale al lavabo che deve essere del tipo a mensola. Devono essere dotati di opportuni corrimano e di un campanello d'emergenza posto in prossimità della tazza e della vasca. Dare preferenza a rubinetti con manovra a leva.

Minimi dimensionali:

Lo spazio necessario all'accostamento e al trasferimento laterale della sedia a rotelle alla tazza WC e al bidet (dove previsto), deve essere minimo di cm 100 dall'asse dell'apparecchio sanitario. Lo spazio necessario all'accostamento della sedia a rotelle alla vasca deve essere minimo di cm 140 (lungo la vasca stessa), con profondità minima di cm 80. Lo spazio necessario all'accostamento frontale della sedia a rotelle al lavabo deve essere minimo di cm 80 misurati dal bordo anteriore.

- Lavabi: Il piano superiore deve essere posto a cm 80 dal piano di calpestio. Deve essere sempre senza colonna con sifone preferibilmente del tipo accostato o incassato a parete.

- WC e bidet: Devono essere preferibilmente del tipo sospeso. L'asse della tazza WC o del bidet deve essere posto ad una distanza minima di cm 40 dalla parete laterale. Il bordo anteriore deve essere posto a cm 75/180 dalla parete posteriore. Il piano superiore a cm 45/50 dal calpestio. Qualora l'asse della tazza o bidet sia distante più di 40 cm dalla parete, si deve prevedere, a cm 40 dall'asse dell'apparecchio sanitario un maniglione o corrimano per consentire il trasferimento.

- Doccia: Deve essere a pavimento. Deve essere dotata di sedile ribaltabile e doccia a telefono.

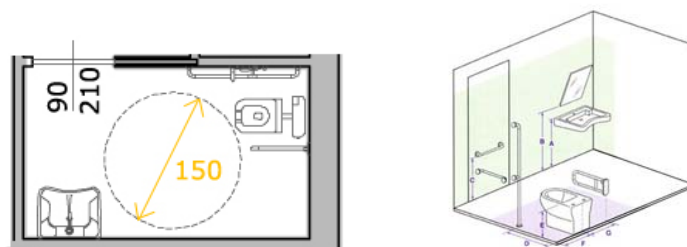


Figura 97. Accessibilità dei servizi igienici. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

In aggiunta alle convenzionali norme, si è posta molta attenzione a tutti quei particolari spesso non considerati nella comune progettazione. Per esempio, si sono posti montascale ad ogni rampa di scale, in modo che passeggini, carrozzine, infortunati, etc. possano raggiungere i diversi piani; gli spazi di accesso e i corridoi sono particolarmente ampi in modo da garantire lo spazio necessario al transito di carrozzelle; Inoltre sono state pensate diverse soluzioni, anche meno comuni del normale, per poter soddisfare veramente tutti, per esempio: si è pensato di segnalare i gradini con delle strisce longitudinali di diverso colore (che aiutino per esempio chi ha disturbi della vista); oppure, all'interno dei bagni, si è giocato sulla differenza di colori, sulla forma e sul posizionamento dei sanitari, ad altezza adeguata, sulla collocazione di specchi e accessori, ad altezza adatta sia a persone in piedi che sedute. Questi sono alcuni esempi di accorgimenti specifici e concreti.⁴³

Per quanto riguarda la sicurezza al fuoco si è fatto riferimento al DM 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro". Gli edifici studiati rientrano nella classe "luoghi di lavoro a rischio di incendio medio". Per questo motivo la lunghezza massima del percorso da compiere per raggiungere un luogo sicuro deve essere compresa tra i 30 e i 45 metri. Ogni misurazione è stata fatta prendendo i punti più critici, ovvero i punti più lontani dal luogo sicuro, indicato sulle piante attraverso una freccia.

Sulle piante sono poi indicate le porte antincendio, tutte REI 120, in modo da garantire una resistenza di 120 minuti, mentre il tempo di percorrenza massimo per un edificio considerato a rischio medio è di 3 minuti (sempre in riferimento al DM 10/03/98).

In aggiunta ai suddetti accorgimenti, è stata posta attenzione anche rispetto all'apertura delle porte (verso l'esodo), all'indicazione delle vie d'uscita tramite segnaletica, all'adeguata illuminazione delle vie d'uscita, all'assenza di ostacoli e ostruzioni lungo le vie d'esodo...

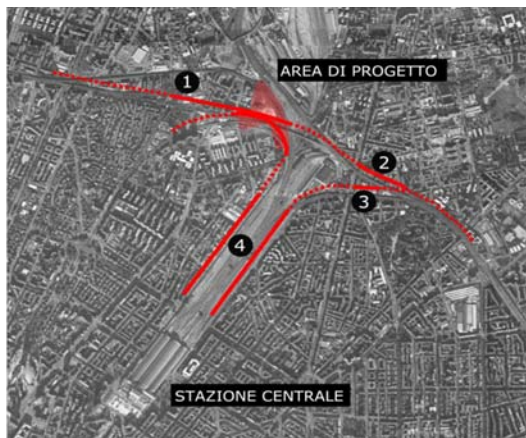
Si è inoltre scelto, non avendo un'apposita norma in relazione ai centri polifunzionali e in generale alle funzioni che si andranno a insediare al di sotto delle arcate, di utilizzare come guida al numero e posizionamento degli estintori, i criteri espressi nel DM 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro". Così, in generale, gli estintori saranno posti

⁴³ Si rimanda alle tavole 5.06 a- b e 5.10 a- b

vicino alle zone di maggior rischio e in numero maggiore negli ambienti potenzialmente più affollati.⁴⁴

Mappatura delle arcate a Milano

Il recupero delle aree dismesse è un tema molto attuale per la città di Milano ed è proprio in quest'ottica che si inserisce il progetto di riqualificazione delle arcate. In questo paragrafo si vuole proporre una possibile adattabilità del progetto da noi sviluppato per le altre arcate presenti a Milano.



1. via Bettoni
2. viale Monza-via Pontano
3. viale Monza- via Merano
4. Magazzini raccordati di via Sammartini

Figura 98. Mappatura delle arcate a Milano, stralcio della tavola 5.16, *Mappatura delle arcate a Milano*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Dalla mappatura si può notare che altre arcate presenti in città sono situate a nord della stazione centrale, nei pressi dell'area di progetto. Esse sono spesso abbandonate, destinate ad accogliere usi marginali e fortemente degradate.

I cittadini hanno dimostrato interesse per questo tema, un esempio di volontà da parte della cittadinanza di riappropriarsi di questi spazi abbandonati è quanto successo per i Magazzini Raccordati di via Sammartini. Il Comune di Milano ha infatti previsto la realizzazione di un nuovo fronte urbano, ricco di funzioni commerciali, pubbliche ed espositive, che permetta la riqualificazione di tutto il settore urbano circostante.



Figura 99. I magazzini Raccordati di via Sammartini durante l'evento di giugno 2013. Fonte: www.magazziniraccordati.blogspot.it

⁴⁴ Si rimanda alle tavole 5.07 a-b e 5.11 a-b

E' sembrato quindi interessante mostrare come il progetto proposto per le Arcate di Greco fosse replicabile in altre zone della città, dove ora le arcate non sono affatto valorizzate. Si propongono di seguito due foto inserimenti relativi alle arcate che si affacciano lungo viale Monza e via Bettoni.



Figura 100. Le arcate di viale Monza-via Pontano prima e dopo l'intervento di riqualificazione, stralcio della tavola 5.16, *Mappatura delle arcate*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

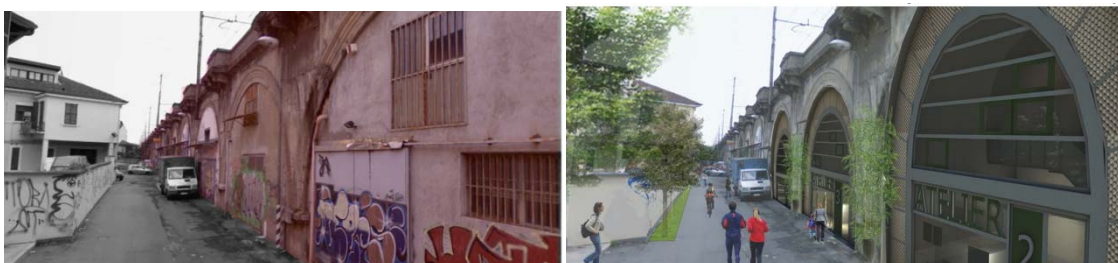


Figura 101. Le arcate di via Bettoni prima e dopo l'intervento di riqualificazione, stralcio della tavola 5.16, *Mappatura delle arcate*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

5.4 Le nuove costruzioni: il centro sportivo e il parcheggio automatizzato

Si passa nel seguente paragrafo a descrivere gli interventi previsti per l'area a sud delle arcate. In particolare verranno prese in esame le scelte architettoniche e compositive che hanno portato al disegno dei nuovi edifici del centro sportivo e del parcheggio automatizzato. Successivamente si descriveranno organizzazione spaziale e funzionale e la normativa seguita in ambito di accessibilità e antincendio.

Scelte architettoniche e compositive

Come precedentemente detto, lungo via delle Rimembranze di Greco si è pensato di collocare un nuovo edificio che completasse il fronte strada e facesse da ingresso all'area. Il nuovo edificio consiste in una "L" composta da due blocchi distinti A+B, un unico elemento nel quale è possibile leggere la sua composizione. Il corpo B fa da basamento a quello A, appoggiato e al tempo stesso sospeso su di esso. Il primo dei due blocchi ospita il parcheggio automatizzato, per questo è stato pensato come un elemento completamente opaco, senza nessuna apertura, a differenza del secondo. Il basamento ospita diversi spazi commerciali, lungo via Rimembranze di Greco, e il centro sportivo con tribune, all'interno dell'area di progetto.

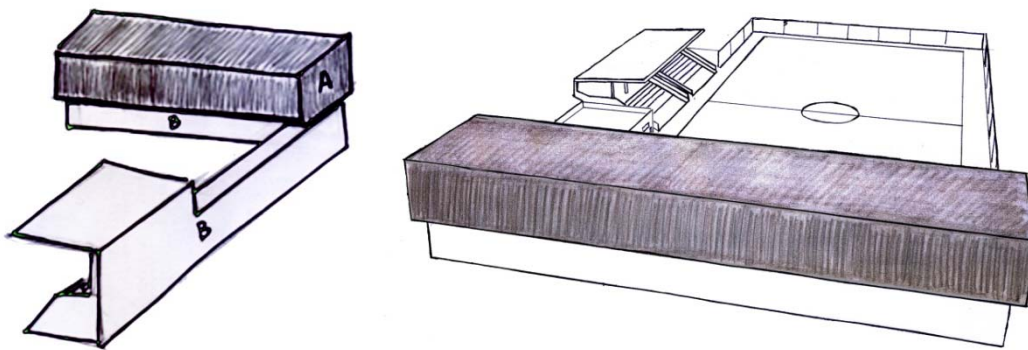


Figura 102. Schizzi progettuali degli edifici di nuova costruzione. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

I nuovi edifici dovevano essere riconoscibili ma al tempo stesso comunicare con l'intervento realizzato al di sotto delle arcate. È attraverso l'uso e la scelta dei materiali che si è resa possibile la comunicazione tra i diversi interventi realizzati. Il parcheggio ha infatti un rivestimento di rete microforata, la stessa utilizzata per le arcate, e le vetrate, presenti numerose nel basamento, sono trattate allo stesso modo di quelle dei moduli inseriti al di sotto delle arcate, con la scansione orizzontale che si infittisce verso l'alto.



Figura 103. Vista dell'ingresso al centro sportivo, tavola 5.22 a, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 104. Vista del parcheggio e degli spazi commerciali, tavola 5.22 b, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Il rivestimento con rete microforata è perfetto per mascherare le auto parcheggiate e per rendere al meglio l'idea che si tratti di un blocco separato dal basamento. Per evitare l'effetto di monotonia e per movimentare la facciata si è pensato di utilizzare una rete piegata. La pelle metallica è costituita da lame di rete microforata di tre tipi (A, V e L) che ricordano gli elementi di un codice a barre, dove l'alternarsi di una linea fine, una grossa e uno spazio creano un ritmo e un gioco di ombre che si ripete per tutte e quattro le facciate del parcheggio. Su di essa potranno anche essere collocati degli schermi pubblicitari, in modo da dare un aspetto più accattivante all'edificio parcheggio.



Figura 105. La pelle metallica del centro sportivo a Barakado in Spagna (Garmendia arquitectos), usata come riferimento per il rivestimento del parcheggio multipiano. Fonte: www.europaconcorsi.it

Per il basamento è stato utilizzato un sistema di rivestimento in pannelli di fibrocemento di colore bianco e le vetrate a filo interno lasciano a vista l'imbotte di colore verde lime. Si è scelto anche in questo caso di giocare con il colore e di utilizzare grandi scritte in facciata per enunciare ciò che accade all'interno dei nuovi edifici. Il basamento è separato dal blocco parcheggio attraverso una scocca vetrata e quest'ultimo sporge in avanti evidenziando che si tratta di due corpi distinti.



Figura 106. Vista del parcheggio automatizzato lungo viale Rimembranze di Greco, tavola 5.22 c, Viste. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 107. Prospetto Ovest, stralcio della tavola 5.21, Prospetti. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 108. Prospetto Est, stralcio della tavola 5.21, Prospetti. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

La rete microforata è stata utilizzata anche per gli ingressi alla tribuna, facendo in modo che questa potesse essere letta come facente parte al corpo B. La tribuna, anch'essa di colore bianco, è un unico elemento: gradonate e copertura costituiscono un unico corpo. Il colore verde è utilizzato, oltre che per gli imbotti e per le scritte, anche per alcuni elementi della tribuna come ad esempio per i seggiolini, i pilastri che reggono la copertura o per segnalare l'ingresso ai servizi. Un altro elemento che caratterizza le tribune sono i vetri serigrafati che richiamano al gioco del calcio e al campo sportivo che da sempre ha avuto molta importanza per il quartiere di Greco.



Figura 109. Lo stadio *Scoring High* (Atelier Du Pont), preso come riferimento per l'uso del colore. Fonte: www.europaconcorsi.it



Figura 110. Vista della tribuna del nuovo centro sportivo, tavola 5.22 d, Viste. Fonte: elaborazione grafica dell'autore



Figura 111. Prospetto nord, stralcio della tavola 5.20, *Prospetti e sezioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 112. Prospetto sud, stralcio della tavola 5.20, *Prospetti e sezioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.



Figura 113. Sezione a-a', stralcio della tavola 5.20, *Prospetti e sezioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Organizzazione funzionale e spaziale

Il nuovo edificio su via Rimembranze di Greco andrà ad ospitare al piano terra spazi commerciali e a quelli superiori il parcheggio multipiano automatizzato.

Per la progettazione del parcheggio si è fatto riferimento alle schede tecniche della *Idealpark*, in particolare al modello *Multiparker 740*. Con questa tipologia si ottimizza lo spazio di parcheggio affiancando e sovrapponendo le vetture una sull'altra in un sistema di deposito e prelievo. La disposizione in lunghezza è particolarmente adatta per piante di edificio strette, come nel nostro caso, in cui non avevamo a disposizione grande spazio a causa della vicinanza del campo da calcio. Al parcheggio si accede dalla nuova viabilità creata tra via Rho e via Rimembranze di Greco.

L'utente, arrivato in prossimità del parcheggio seleziona il processo di parcheggio con il proprio telecomando, la porta si apre, l'utente posiziona l'auto su un pallet in un'area di trasferimento. Dopo l'uscita dell'utente dall'area di trasferimento, la porta si chiude e la procedura di parcheggio procede automaticamente. Al ritiro l'auto viene prelevata dalla griglia di deposito e trasportata all'area di trasferimento in direzione di uscita. L'area di trasferimento, situata a sud, è disposta al piano terra dell'edificio, e le auto sono posizionate nei quattro piani superiori. In totale il parcheggio può ospitare 176 auto. In questo modo si evitano rampe e corsie di manovra, si ha un risparmio nell'installazione della parte impiantistica rispetto ai parcheggi tradizionali e un ottimo impatto ambientale in termini di compattezza dell'edificio e di riduzione delle emissioni di gas di scarico.

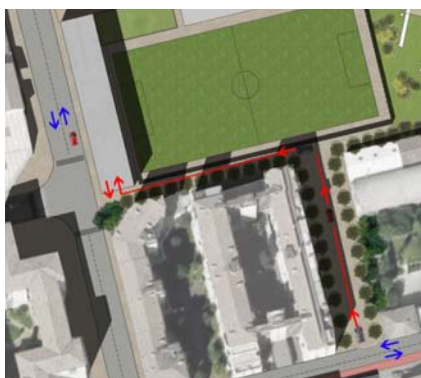


Figura 114. Schema della viabilità di accesso al nuovo parcheggio. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Il piano terra del multiparker ospita otto spazi commerciali. Si tratta di piccoli negozi, in cui è presente una zona dedicata all'esposizione e alla vendita (circa 40mq), nella parte posteriore si trovano invece il magazzino e un piccolo locale con servizi. Al magazzino vi si accede direttamente dall'esterno attraverso una nuova via (lungo il lato ovest del campo da calcio) per lo scarico delle merci.

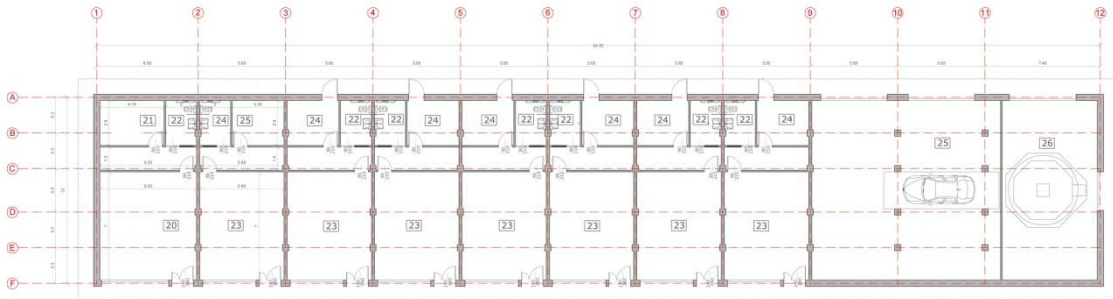


Figura 115. Pianta piano terra commerciale dell'edificio parcheggio, stralcio della tavola 5.17, *Piante centro sportivo e parcheggio*. Fonte. Elaborazione grafica dell'autore.

Oltre al campo da calcio, la variante al PGT prevedeva la realizzazione di un edificio per gli spogliatoi. Si è pensato quindi di realizzare non solo degli spogliatoi per gli utenti del campo da calcio, ma anche una palestra. In questo modo il centro sportivo è usufruibile non solo in occasione di partite e allenamenti ma potrà essere utilizzato anche da un altro tipo di utenza. Al centro sportivo vi si accede dalla nuova piazza verde a sud delle arcate.

All'ingresso si trova il bancone della reception e una piccola area relax. A destra si trovano il primo spogliatoio, l'infermeria e lo spogliatoio degli arbitri-istruttori. Sulla sinistra invece, la palestra, gli uffici e il secondo spogliatoio.

Gli spogliatoi per gli atleti sono stati dimensionati per ospitare in totale contemporaneamente 53 persone (si sono considerati, secondo normativa, 1,6 mq a persona). Per motivi d'igiene, si è fatta particolare attenzione a separare la zona in cui ci si cambia da quella delle docce. I bagni, dotati di antibagno, rispettano le minime dimensioni di 0,9x1,2 m, così come le docce che devono essere di almeno 0,9x0,9 m. In entrambi gli spogliatoi è presente un bagno progettato per i diversamente abili. Lo spogliatoio degli arbitri e degli istruttori è stato progettato per ospitare fino a sette utenti contemporaneamente, sempre tenendo in considerazione 1,6 mq a persona, ed è dotato di un bagno con due servizi e una doccia. Secondo normativa l'infermeria ha una superficie superiore a 9 mq ed è dotata di servizi accessibili ai diversamente abili. Per quanto riguarda la palestra, si tratta di due sale, la prima per l'utilizzo degli attrezzi e gli allenamenti individuali, la seconda per i corsi organizzati. Hanno accesso indipendente dall'esterno il locale tecnico e il magazzino, che si trova in prossimità del campo da calcio, in modo da poter essere utilizzato con facilità in occasione di partite e allenamenti.⁴⁵

Alle tribune si accede da due ingressi sulla nuova piazza, di fronte alle arcate. Queste sono state progettate per accogliere 420 spettatori. Al centro sono situati due bagni per il pubblico, accessibili ai diversamente abili.

⁴⁵ Si rimanda alla tavola 5.17

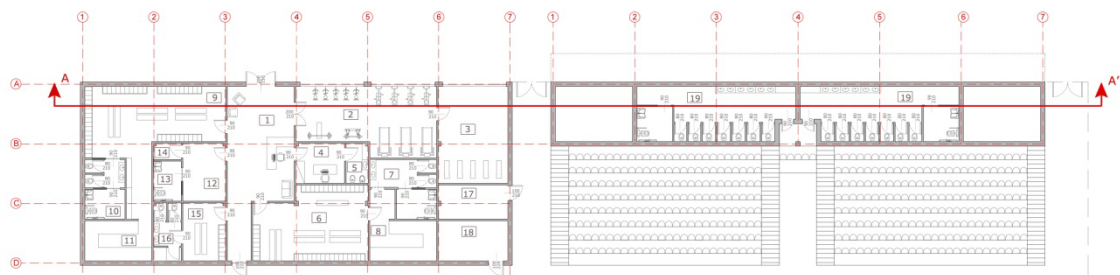


Figura 116. Pianta del centro sportivo e tribuna, stralcio della tavola 5.17, *Piante centro sportivo e parcheggio*. Fonte. Elaborazione grafica dell'autore.

Verifiche delle normative: accessibilità ed antincendio

Attenzione particolare nell'ambito della progettazione degli spazi e dei percorsi è stata posta nel garantire una buona accessibilità e raggiungibilità a tutti i tipi di fruitori. Il progetto si propone dunque di garantire praticabilità, fruibilità e completa accessibilità a tutta la collettività.⁴⁶

Si è fatto riferimento sono le norme dettate dalle leggi in materia di accessibilità, in particolare si fa riferimento al DPR 24 luglio 1996, n. 503 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici"; con richiami al DM 14 giugno 1989, n. 236 "Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche".⁴⁷

In riferimento alla normativa antincendio, prendendo in considerazione la classificazione del livello di rischio, valutato attraverso il DM 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro", l'edificio centro sportivo in oggetto rientra nella classe "luoghi di lavoro a rischio di incendio medio". Per questo motivo la lunghezza massima del percorso da compiere per raggiungere un luogo sicuro deve essere compresa tra i 30 e i 45 metri. Così, come si può vedere dalla tavola delle piante antincendio⁴⁸, il limite è stato rispettato. Ogni misurazione è stata fatta prendendo, come punti di partenza, i punti più critici, ovvero i punti più lontani dal luogo sicuro.

Rifacendosi al DM 10/03/98, il tempo di percorrenza massimo per un edificio considerato a rischio medio è di 3 minuti. Così la presenza di una doppia via di fuga garantisce il rispetto dei tempi normativi.

Le porte sono dunque state scelte REI 120, capaci di resistere per 120 minuti.

Altri accorgimenti sono stati presi in relazione a:

- Apertura delle porte verso l'esodo;
- la porta scorrevole d'ingresso, che funge da via d'uscita, deve essere di tipo ad azionamento automatico e deve poter essere aperta a spinta nel senso

⁴⁶ Si rimanda alla tavola 5.18

⁴⁷ Si veda il paragrafo *Verifiche delle normative: accessibilità ed antincendio* in 5.3

⁴⁸ Si rimanda alla tavola 5.19

- dell'esodo, con dispositivo opportunamente segnalato e restare in posizione di apertura in mancanza di corrente elettrica;
- l'indicazione delle vie di uscita tramite segnaletica conforme alla vigente normativa;
 - l'adeguata illuminazione di tutte le vie d'uscita, inclusi anche i percorsi esterni, per consentire la loro percorribilità in sicurezza fino all'uscita su luogo sicuro;
 - l'assenza, lungo le vie di uscita, di attrezzature che possono costituire pericoli potenziali di incendio o ostruzione delle stesse (come apparecchi di riscaldamento, depositi temporanei d'arredo, sistema di illuminazione a fiamma libera, etc.).

La legislazione relativa alle norme di sicurezza in materia di impianti sportivi (DM 18/03/96) non fornisce indicazioni sulla quantità e sul posizionamento degli estintori, indicando solamente che *"devono essere in numero adeguato e con una capacità estinguente non inferiore a 13 A - 89 B"*.

Si è così scelto di utilizzare come guida i criteri espressi nel DM 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro":

- minimo un estintore per piano;
- un estintore ogni 150 mq (estintore 34 A - 144 B per edificio valutato a rischio medio);
- percorso per raggiungere l'estintore non maggiore di 30m;
- estintori posizionati in modo da essere facilmente accessibili, in prossimità degli ingressi degli ambienti, vicino alle zone di maggior rischio, lungo i percorsi di esodo ed in prossimità delle vie di sicurezza.

La collocazione degli estintori è visibile nella tavola delle piante antincendio

IL PROGETTO
TECNOLOGICO

3

CAPITOLO 6. IL PROGETTO TECNOLOGICO

In questo capitolo vengono trattati tutti gli elementi tecnologici del progetto. Dapprima verranno analizzati le stratigrafie, le sezioni in scala 1:20 ed i nodi costruttivi in scala 1:10, con descrizioni tecnologiche e prestazionali. In seguito si studia la messa in opera di tali elementi attraverso le fasi costruttive. Infine vengono studiate le analisi riguardanti le prestazioni energetiche del progetto: lo schematic design e l'illuminotecnica.

6.1 L'involucro edilizio

In questo paragrafo vengono trattati gli aspetti tecnologici del progetto. In particolare si analizzano gli edifici sottostanti le arcate ferroviarie (il centro ricreativo, gli atelier e le attività terziarie).

L'idea architettonica è stata sviluppata con una grande attenzione alle prestazioni energetiche: partendo dall'illustrazione dei pacchetti scelti sono state definite la trasmittanza, la presenza di condensa, lo sfasamento e dove necessario il potere fonoisolante della stratigrafia, calcolati con i softwares Jvap e JTempest della Celenit. L'obiettivo energetico non si limita al raggiungimento dei valori limite imposti per legge, ma mira ad una risposta ottimale dell'involucro agli agenti esterni.

La scelta tecnologica si è quindi subito orientata verso una tecnologia a secco. Le sue alte prestazioni energetiche, la facilità di assemblaggio e l'utilizzo di macchinari di dimensioni ridotte si adattano maggiormente alle caratteristiche e particolarità del progetto ed in particolar modo a quelle degli edifici sottostanti le arcate.

Le scelte tecnologiche

Se si analizzano le normative europee relative al risparmio energetico e si valutano le efficienze energetiche degli edifici realizzati con tecniche latero cementizie a umido, si desume facilmente la necessità di nuove soluzioni il cui fine sia quello di realizzare edifici realmente sostenibili e poco energivori. La progettazione architettonica mediante la tecnologia stratificata a secco consente di proporre metodologie progettuali e costruttive più vicine alle attuali esigenze. Tale tecnologia si pone come alternativa efficace ai tradizionali sistemi costruttivi a umido di tipo blocco su blocco, cassero e riempimento e più in generale ai sistemi ibridi, quali i sistemi latero cementizi.

La costruzione stratificata a secco, denominata anche S/R (Struttura-Rivestimento), minimizza l'uso dei materiali, consente una progettazione mirata ai reali requisiti di qualità ed alte prestazioni di risparmio energetico, fa uso di prodotti di derivazione industriale di alta qualità e certificati, e consente una grande libertà di espressione architettonica ed estetica, libera da vincoli di sistemi prefabbricati.

In particolare la stratificazione a secco permette di realizzare una tecnologia d'involucro più avanzata dal punto di vista dei nessi funzionali. L'involucro è, infatti, la porzione dell'organismo edilizio che maggiormente si presta ad essere indagato per la complessità dei temi progettuali coinvolti. In esso è compreso il problema

della giunzione tra telaio e tamponamento, della coibentazione termica e acustica, dell'impermeabilità, della captazione solare attiva e passiva, della resistenza meccanica e della stabilità. L'assemblaggio a secco, grazie alle sue estese possibilità combinatorie e alla vastità di proposte provenienti dal mercato dell'industria edilizia, permette di sviluppare un'ampia campionatura di soluzioni tecniche e facilita la costituzione di un metodo di progettazione integrata che può proporre soluzioni tecniche combinatorie.

Per le scelte tecnologiche particolare attenzione è stata fatta alle prestazioni energetiche. I valori limite di riferimento sono stati forniti dal D.lgs. 56/10, un aggiornamento del D.lgs. 115/08, che fornisce i valori limite di trasmittanza termica in relazione sia alle zone climatiche, sia alla tipologia di pacchetto tecnologico.

Per determinare la zona climatica si considerano i gradi giorno di Milano corrispondenti al valore 2404, che corrispondono alla zona climatica E ($2101 \leq GG \leq 3000$).

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva.

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno
(**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del Dpr 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi

Tabella 2. Valori limite trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espressi in W/m^2K

I valori legislativi, oltre ad essere stati rispettati, sono stati anche superati per ottenere delle prestazioni di comfort termico ottimali.

Per le scelte tecnologiche sono state adottate molteplici strategie; di seguito ne elenchiamo alcune:

- per garantire la massima uniformità del rivestimento isolante e limitare il numero dei ponti termici è stato utilizzato esternamente un sistema di pannelli sandwich che contribuiscono anche all'isolamento acustico e termico. Inoltre, essendo l'edificio costruito al di sotto delle arcate, la facile posa dei pannelli sandwich garantisce un montaggio più rapido;
- retrostante al sistema di pannelli sandwich, sostenuti da un'orditura metallica in acciaio rivestito con una lega di alluminio e zinco, sono stati posizionati diversi isolanti con densità e spessore variabili. Questo permette di

- migliorare le prestazioni di isolamento acustico oltre a far raggiungere al pacchetto tecnologico valori di trasmittanza molto bassi;
- le partizioni interne si suddividono in pareti semplici e doppie, per un maggior isolamento acustico. Esse, a loro volta, possono essere attrezzate con cartongesso resistente all'umidità nel caso dei bagni, oppure con ulteriori isolanti acustici insonorizzanti per le sale musica.

I pacchetti tecnologici identificati sono molteplici. Di seguito sono rappresentate due sezioni che li identificano.

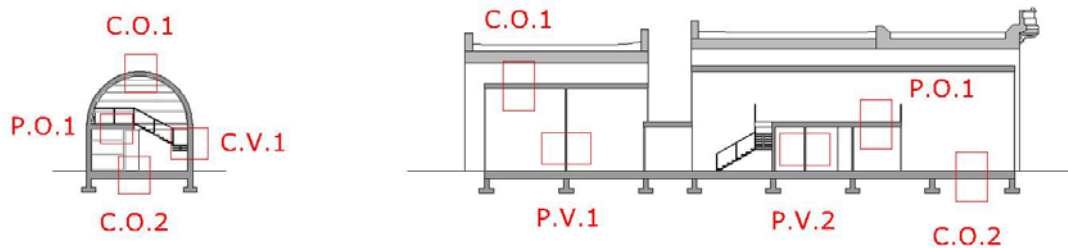


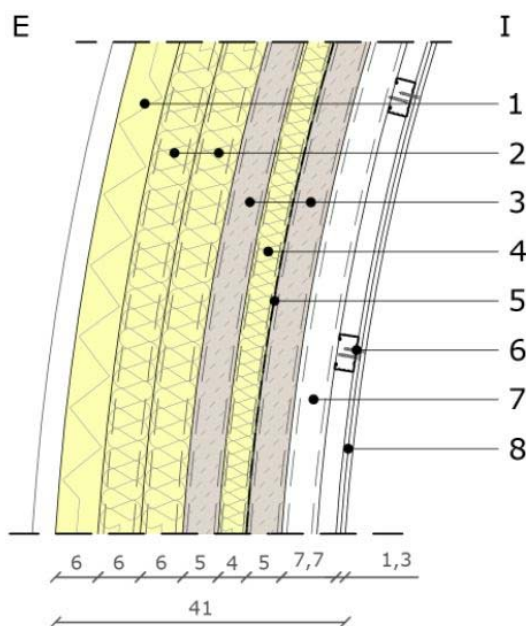
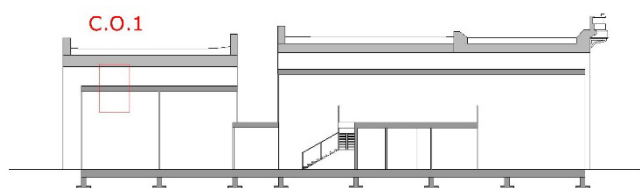
Figura 117. Sezioni rappresentative del centro ricreativo con individuazione dei pacchetti tecnologici. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Di seguito vengono riportate ed illustrate le differenti stratigrafie presenti nell'edificio e per ognuna di esse viene specificata la trasmittanza. A seguito dei pacchetti ritenuti rappresentativi vengono riportate le tabelle riassuntive delle prestazioni principali richieste all'elemento tecnico e la sua descrizione funzionale. Infine si vuole sottolineare come, nella maggior parte dei casi, i pacchetti hanno valori di trasmittanza inferiori al limite di legge, a dimostrazione della volontà di non limitare lo studio al rispetto della normativa, ma di perseguire il raggiungimento di prestazioni energetiche migliori.

Pacchetti tecnologici

C.O.1 – Copertura curva

La copertura degli elementi costruiti segue l'andamento curvo delle arcate. Si è scelto un pannello sandwich con raggio adeguato alle esigenze costruttive come elemento a contatto con l'esterno. Si susseguono poi diversi strati isolanti con diverse densità e proprietà per garantire, oltre all'isolamento termico, anche quello acustico, essendo l'edificio sottostante il viadotto ferroviario.

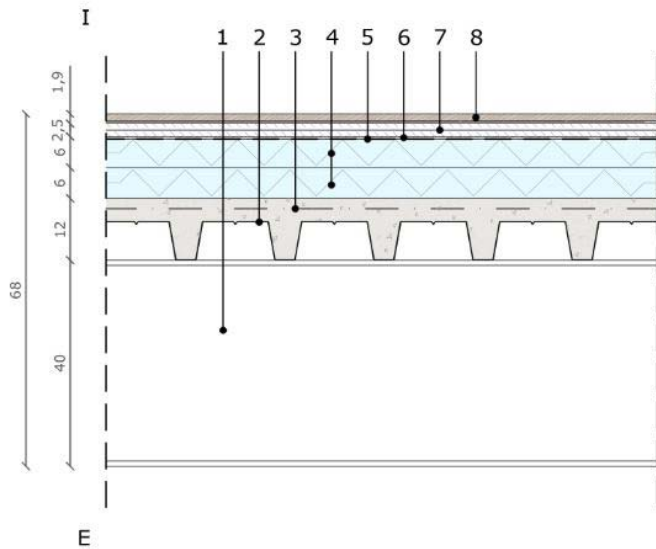
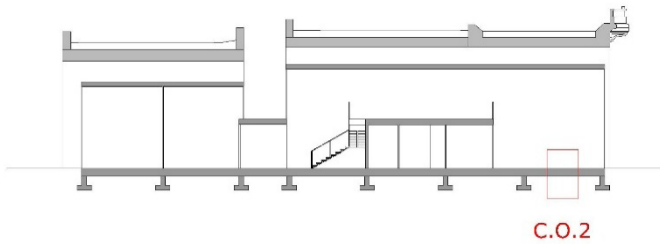


1. Pannello sandwich tipo *Italpannelli*, sp. 6 cm
2. Isolante in lana minerale, sp. 2x6 cm
3. Isolante in fibra di legno tipo *FiberThermFlex*, sp. 2x5 cm
4. Isolante in lana minerale, sp. 4 cm
5. Freno al vapore
6. Profilo portante tipo *Knauf C Plus 50/27*, 300x5x2,7x0,7 cm
7. Profilo a T portante curvabile tipo *T-plan*, 300x5x0,07 cm
8. Lastra in cartongesso curvo tipo *Knaufixy*, sp. 2x0,65 cm

Sp. Tot.: 41 cm
 Trasmittanza: 0,09 W/mqK
 Condensa: non presente
 Sfasamento: 9h34

C.O.2 – Solaio controterra

La chiusura orizzontale degli edifici costruiti al di sotto delle arcate ferroviarie è rialzata rispetto al terreno per evitare la trasmissione attraverso il suolo di vibrazioni prodotte dal passaggio dei treni. Questo pacchetto è costituito da un solaio con lamiera grecata collaborante e da isolante che aiuta a migliorare le prestazioni energetiche.

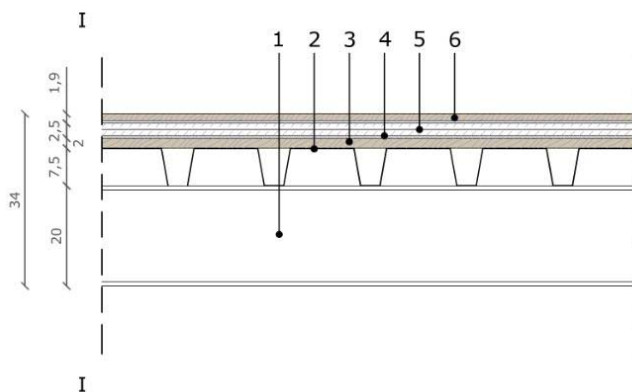
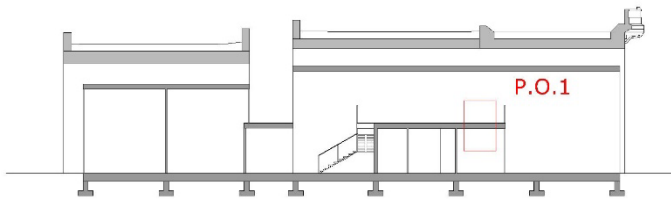


1. Trave primaria IPE 400
2. Lamiera grecata tipo *Solac 75*, sp. 7,5 cm
3. Getto collaborante in cls con rete elettrosaldata, sp. 4 cm
4. Isolante in polistirene espanso estruso tipo *Elyfoam*, sp. 2x6 cm
5. Freno al vapore
6. Isolante anticalpestio in fibra di legno, sp. 0,5 cm
7. Doppia lastra in gesso rivestito tipo *Knayf pavilastra F145*, sp. 2x1,25 cm
8. Finitura interna in parquet in legno con collante, sp. 1.9 cm

Sp. Tot.: 68 cm
 Trasmittanza: 0,18 W/mqK
 Condensa: inferiore al valore limite (500 g/mq)
 Sfasamento: 5h17

P.O. 1 – Soppalco

Il soppalco è l'unica partizione orizzontale presente nell'edificio. Per rispondere alle esigenze di carico e di affollamento, è stata scelta una stratigrafia leggera, ma allo stesso tempo resistente composta da lamiera grecata, accompagnata da un assito in legno e da un isolante anticalpestio.

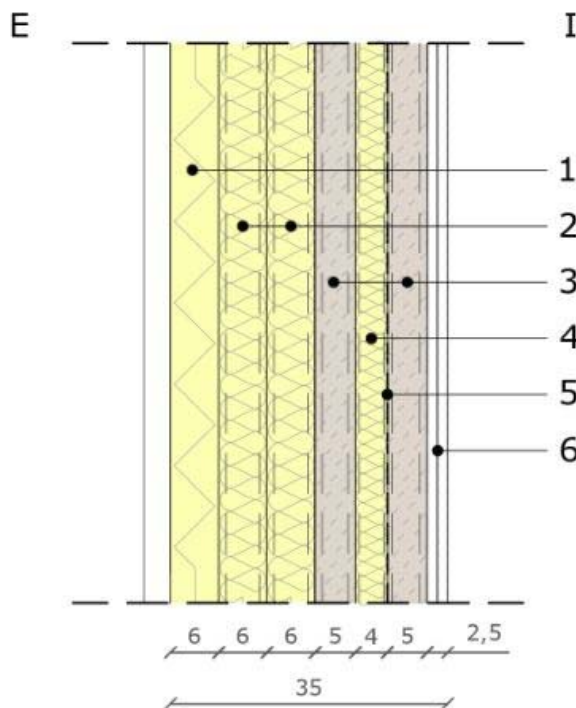
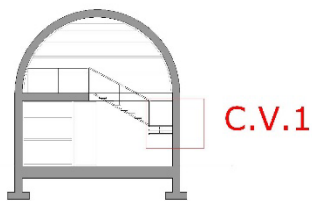


1. Trave secondaria IPE 200
2. Lamiera grecata tipo *Solac 75*, sp. 7,5 cm
3. Assito in legno, sp. 2 cm
4. Isolante anticalpestio in fibra di legno, sp. 0,5 cm
5. Doppia lastra in gesso rivestito tipo *Knauf Pavilastra F145*, sp. 2x1,25 cm
6. Finitura interna in parquet in legno con collante, sp. 1,9 cm

Sp. Tot.: 34 cm

C.V.1 – Parete perimetrale

La seguente chiusura è utilizzata per le pareti perimetrali. Dovendo rispondere a requisiti acustici e termici, è stato scelto un pacchetto composto esternamente da un pannello sandwich sostenuto da un elemento tubolare in acciaio zincato, affiancato da diversi strati di isolanti con diverso spessore e densità, sorretti a loro volta da montanti a C e traversi a U in acciaio zincato. Poiché la certificazione acustica delle chiusure a secco è ancora in fase sperimentale, sono stati presi come riferimento i valori del potere fonoisolante dei pacchetti dal catalogo della Celenit.

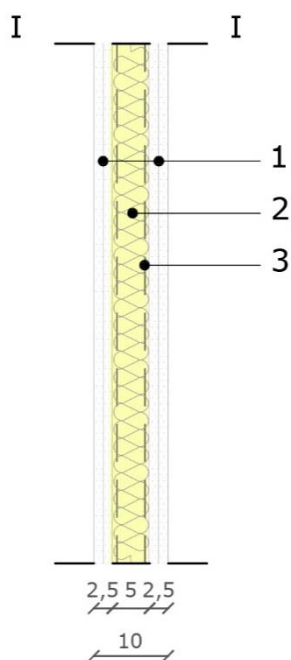
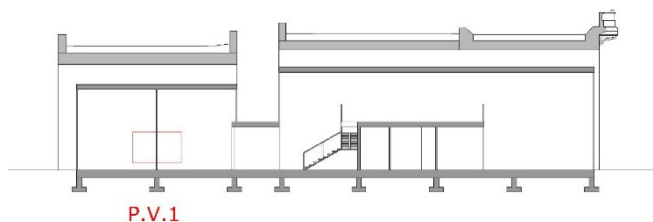


1. Pannello sandwich tipo *Italpannelli*, sp. 6 cm
2. Isolante in lana minerale, sp. 2x6 cm
3. Isolante in fibra di legno tipo *FiberThermFlex*, sp. 2x5 cm
4. Isolante in lana minerale, sp. 4 cm
5. Freno al vapore
6. Lastra in cartongesso, sp. 2x1,25 cm

Sp. Tot.: 35 cm
 Trasmittanza: 0,09 W/mqK
 Condensa: non presente
 Sfasamento: 9h32

P.V.1 – Parete semplice

La seguente partizione interna verticale è una semplice parete leggera, composta da uno strato di isolante morbido in lana minerale, interposto tra due lastre di cartongesso interne e due esterne. La struttura è in montanti con profilo a C e traversi a U in acciaio zincato.

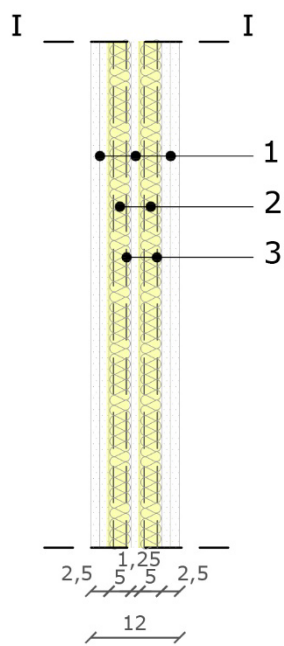
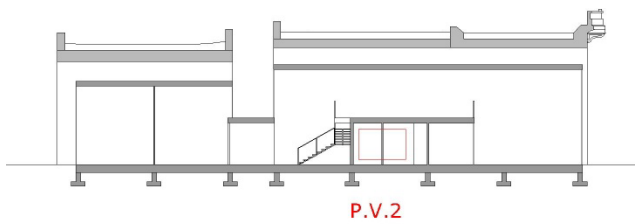


1. Doppia lastra in cartongesso tipo *Knauf*, sp. 2x1,25 cm
2. Isolante in lana minerale, sp. 5 cm
3. Profilo portante a C in acciaio zincato

Sp. Tot.: 10 cm

P.V.2 – Parete doppia

Questo pacchetto è utilizzato per i locali che richiedono un maggiore isolamento acustico. Si tratta una parete leggera composta da due strati di isolante morbido in lana minerale, divisi e interposti tra lastre di cartongesso. La struttura è in montanti con profilo a C e traversi a U in acciaio zincato.



1. Lastra in cartongesso tipo *Knauf*, sp. 5x1,25 cm
2. Isolante in lana minerale, sp. 2x3 cm
3. Profilo portante a C in acciaio zincato

Sp. Tot.: 12 cm

Dettagli tecnologici

Dopo aver definito tutti i pacchetti tecnologici si passa ora a descrivere gli studi compiuti sulle intere sezioni.

Lo studio della tecnologia dell'edificio è stato approfondito attraverso l'individuazione di due sezioni, in scala 1:20, ritenute significative e rappresentative dell'intero edificio⁴⁹. Esse raccolgono tutte le caratteristiche fondamentali del centro ricreativo e raffigurano a livello dettagliato lo sviluppo dei pacchetti tecnologici all'interno dell'edificio e i diversi punti di connessione tra i diversi strati. Inoltre contengono le descrizioni del tipo di chiusure e partizioni utilizzate. In queste sezioni sono stati studiati i nodi ad una scala di 1:10.

L'analisi dettagliata dei nodi ha portato a determinate scelte costruttive, quali l'utilizzo di schiume isolanti e di profili in acciaio, mirate ad ovviare a problemi di ponti termici e di infiltrazioni d'acqua cercando di creare dei raccordi ottimali tra i diversi strati presenti all'interno dell'edificio.

Per poter determinare tutti i nodi caratteristici presenti all'interno del centro ricreativo le sezioni sono state svolte secondo due assi differenti. La prima sezione scelta è stata compiuta trasversalmente rispetto al centro ricreativo. Di questa sono stati approfonditi tre nodi: il primo relativo alla connessione tra fondazione, pilastro e travi principali con annessi pacchetti tecnologici, il secondo alla giunzione tra solaio del soppalco e parete perimetrale, il terzo alla connessione tra scala e solaio del soppalco⁵⁰. La seconda sezione invece taglia il centro ricreativo longitudinalmente. In essa sono stati individuati quattro nodi: il primo relativo alla connessione della struttura con il plinto di fondazione, il secondo la giunzione tra la copertura del corridoio del centro ricreativo ed il suo serramento verticale, il terzo alla connessione tra il solaio del soppalco ed il parapetto dello stesso, infine il quarto alla connessione tra la copertura curva ed la facciata vetrata con il dettaglio della fascia marcapiano⁵¹.

Per ogni nodo sono stati descritti in modo dettagliato i diversi elementi utilizzati. Per componenti con caratteristiche particolari si è fatto riferimento ad alcune case produttrici per indicare i tipi prestazioni richieste all'elemento.

⁴⁹ Si rimanda alle tavv. 6.02 e 6.03 a-d

⁵⁰ Si rimanda alle tavv. 6.04 a-b

⁵¹ Si rimanda alle tavv. 6.04 c-d

6.2 Fasi costruttive

Le varie fasi del processo edilizio, dalla progettazione alla costruzione e gestione dell'opera realizzata richiedono un'informazione tecnica che riguarda, prodotti, macchinari e attrezzature, nonché un'attenta analisi degli aspetti organizzativi di cantiere necessari all'esecuzione dell'opera stessa. In questa sede vengono esaminati, a livello schematico e preliminare, le lavorazioni necessarie alla realizzazione del centro ricreativo IN-ARCH, partendo dagli scavi fino alla posa dei pannelli sandwich. E' stato scelto di esaminare solo le lavorazioni principali (scavi, struttura, posa pannelli sandwich) dato che lo studio è stato fatto a livello propedeutico e di studio preliminare.

Come approccio iniziale sono state individuate tutte le lavorazioni partendo dagli scavi fino alla posa dei pannelli sandwich. Una volta determinati tutti i processi, sono stati schematizzati e raggruppati in fasi come di seguito:

Fase 1: rimozione del terreno attraverso un escavatore e asporto del materiale di risulta tramite autocarro. La lavorazione precede la posa dei plinti di fondazione.

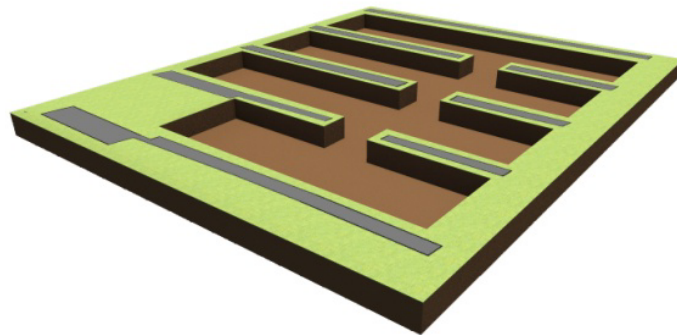


Figura 118. Schema relativo alla fase di scavo. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 2: la fase degli scavi viene seguita dalla posa dei plinti puntuali prefabbricati con ferri di ripresa. Successivo posizionamento di pilastri in acciaio con connessione imbullonata.

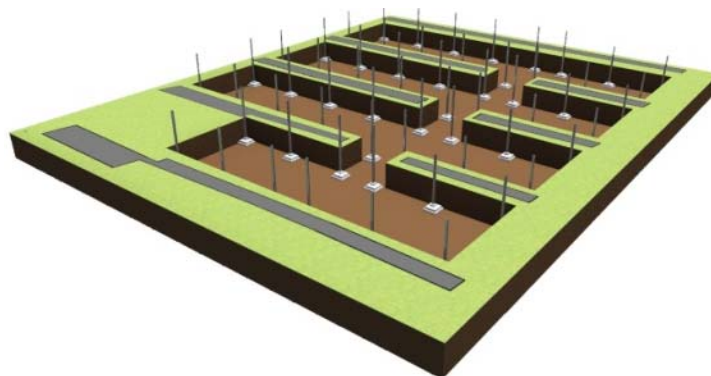


Figura 119. Schema relativo alla fase di posa dei plinti prefabbricati e posa dei pilastri in acciaio, stralcio della tavola 6.05 a, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 3: posa delle travi principali e secondarie in acciaio del solaio a piano terra. Le unioni al pilastro sono imbullonate in sito.

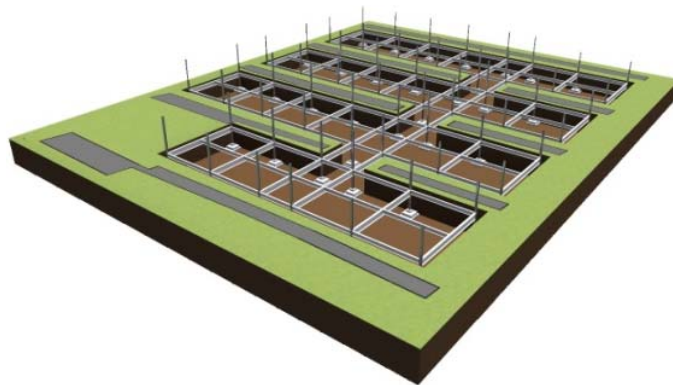


Figura 120. Schema relativo alla fase di posa delle travi del solaio a piano terra, stralcio della tavola 6.05 a, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 4: riempimento dello scavo con argilla espansa. Si procede quindi al posizionamento e affrancamento della lamiera grecata con rivetti. Si passa quindi alla lavorazione che prevede il getto di completamento in cls.

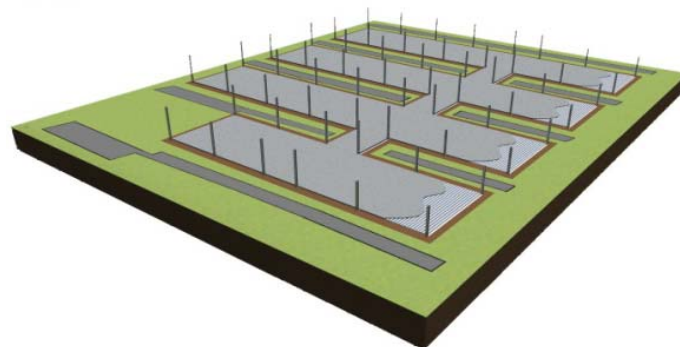


Figura 121. Schema relativo alla fase di riempimento dello scavo con argilla espansa, posa della lamiera grecata e getto collaborante in cls, stralcio della tavola 6.05 a, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 5: la fase successiva al getto del piano terra è la posa delle travi primarie e secondarie della copertura del corridoio e dei soppalchi tramite. Le unioni sono bullonate.

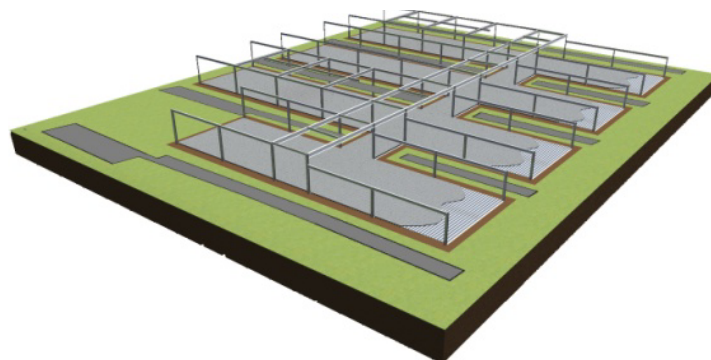


Figura 122. Schema della posa delle travi del piano primo, stralcio della tavola 6.05, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 6: si esegue la posa dei controventi, quindi si effettua il posizionamento e affrancatura della lamiera grecata del soppalco tramite rivetti. Infine si posizionano le travi curve di copertura. La suddetta trave è composta da due parti, le quali vengono assemblate a terra, movimentate e quindi imbullonate ai pilastri.

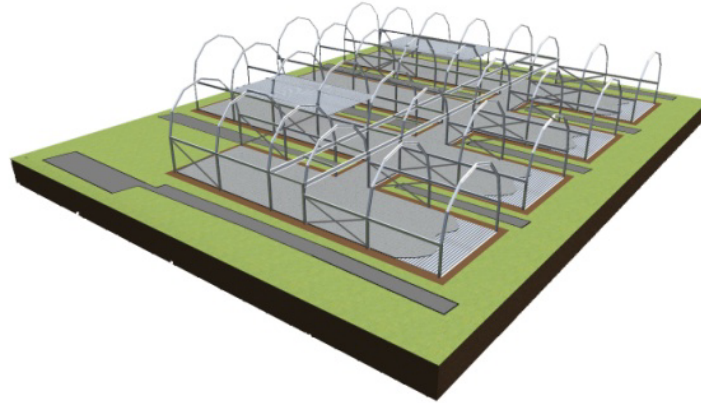


Figura 123. Schema della posa di controventi, lamiera grecata e travi curve, stralcio della tavola 6.05, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 7: una volta posate le travi curve si passa alla posa dei profili scatolari di sostegno del pannello sandwich. Tali profili vengono ancorati alla struttura principale in acciaio.

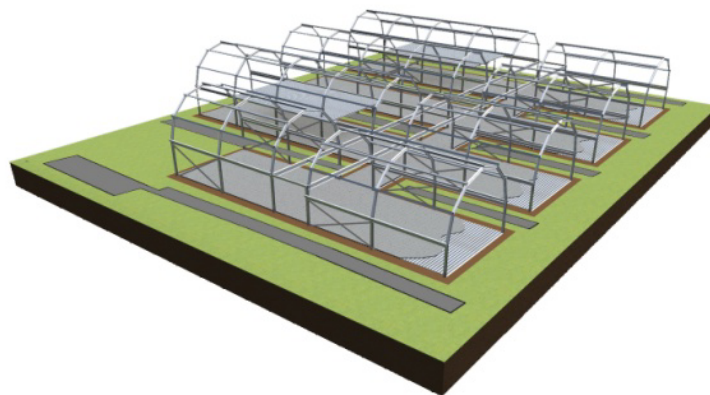


Figura 124. Schema della posa dei profili scatolari fissati alle travi curve, stralcio della tavola 6.05, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase 8: posizionamento dei pannelli sandwich delle pareti, della copertura del corridoio e della copertura curva. I pannelli sono quindi avvitati ai profili scatolari posati nella fase precedente. A seguire il posizionamento dell'isolante interno e posa dei muri interni con sottostruttura in alluminio.

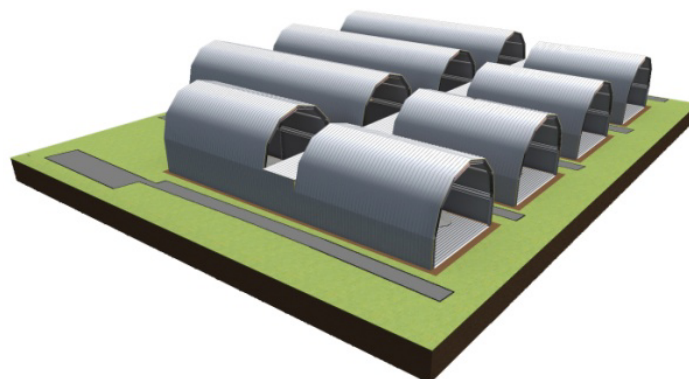


Figura 125. Schema della posa di pannelli sandwich e successiva posa di isolante e pareti interne, stralcio della tavola 6.05, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Una volta determinate le fasi costruttive sopra citate, si è passati allo studio del loro sviluppo in cantiere. Per quanto riguarda i mezzi di movimentazione del materiale, dovendo intervenire al di sotto della arcate, non è stato possibile utilizzare qualsiasi tipologia macchinario. Per tale motivo sono stati selezionati mezzi telescopici per il sollevamento di materiali, dato che sarebbe impossibile l'eventuale utilizzo di una gru a torre.⁵²

Si è quindi ipotizzato l'utilizzo di un'autogru, la quale consente il sollevamento di forti carichi (da 30-40 t fino a 80-100 t), questo tipo di macchinario possiede però sbracci relativamente ridotti. Tuttavia, in questo caso, lo sbraccio massimo risulterebbe pari a 10 metri, dato che la gru può essere posizionata da ambo i lati del viadotto, ragion per cui questo tipo di macchinario potrebbe essere adatto per questo intervento. Da considerare è anche la grande duttilità di questo tipo di macchinario, sia per quanto riguarda l'utilizzo sia per la facilità di movimentazione da un cantiere all'altro. E' da sottolineare che in questa sede non è stata fatta una scelta riguardo questo tipo di mezzo, ma solo un'ipotesi verosimile della tipologia di macchinario, infatti l'individuazione vera e propria dipende da una serie di fattori complessi che non sono stati analizzati in questa tesi.

Per quanto riguarda invece le macchine per il movimento terra, si è ipotizzato l'utilizzo di un escavatore universale, gli escavatori vengono definiti dalla norma UNI-ISO 6165 come "macchine semoventi a cingoli o ruote aventi una struttura superiore capace di una rotazione di 360°, che solleva, scava, ruota e scarica materiale per mezzo di una benna montata su un cinematismo a braccio articolato o su un braccio telescopico, senza che il telaio o il carro si sposti durante il ciclo operativo della macchina". Il ciclo operativo di un escavatore è così strutturato:

1. scavo del terreno;
2. sollevamento materiale;
3. scarico in un punto di accumulo sul ciglio dello scavo o su un mezzo di trasporto.

⁵² Per la stesura del seguente paragrafo è stato fatto riferimento al seguente testo: A. Gottfried, *Ergotecnica edile, sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di cassetta, macchinari e automazione del cantiere*

Considerando invece le opere provvisorie, risulta plausibile il posizionamento di un ponte su ruote, necessario per il fissaggio delle travi ai pilastri e dei pannelli sandwich alla sottostruttura. Come è stato precisato inizialmente, non è stato fatto uno studio ergotecnico del layout di cantiere, ma sono state ipotizzate delle opzioni plausibili e verosimili per il montaggio e per la scelta della tipologia di macchine da cantiere. Di seguito vengono proposte quattro viste che descrivono lo sviluppo delle fasi elencate sopra, con relativi mezzi ipotizzati.

Fase di cantiere 1: il terreno di scavo viene rimosso tramite un escavatore e quindi viene posizionato su un autocarro per il successivo smaltimento. Una volta effettuato lo scavo si passa alla posa dei plinti prefabbricati tramite un'autogru con braccio telescopico, la quale viene posizionata volta per volta di fronte a ogni arcata.



Figura 126. Vista relativa alla fase di scavo e posa dei plinti di fondazione, stralcio della tavola 6.05 b, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase di cantiere 2: la vista mostra il posizionamento delle travi primarie e secondarie in acciaio del solaio a piano terra tramite l'autogru citata prima. Con la stessa si procede alla posa della lamiera grecata del medesimo solaio. Come si vede nella figura che segue, i mezzi per la movimentazione dei materiali sono i medesimi della fase precedente.

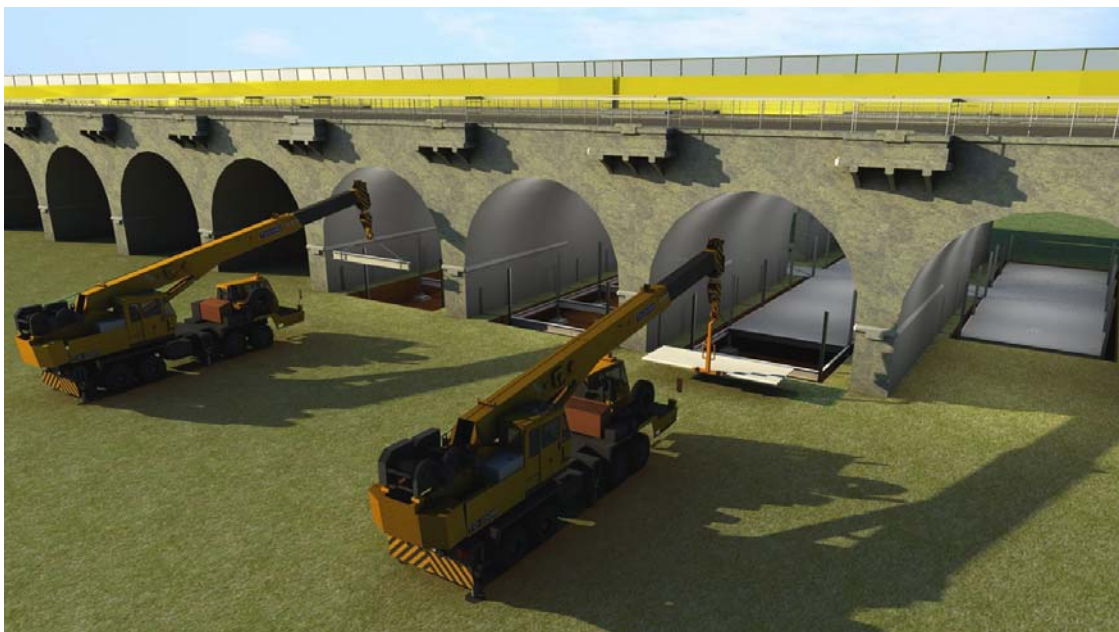


Figura 127. Vista relativa alla posa di travi secondarie e primarie del solaio a piano terra e posa della lamiera grecata, stralcio della tavola 6.05 b, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase di cantiere 3: si procede a rendere collaborante la lamiera grecata tramite il getto in calcestruzzo effettuato con autobetoniera e autopompa, come si vede nella figura di seguito. Una volta ultimato il getto si passa alla posa delle travi primarie e secondarie del primo piano e poi a quelle curve di copertura tramite l'autogrù utilizzata per le lavorazioni precedenti. Le suddette travi sono composte da due profili da assemblare, questa lavorazione sarebbe impossibile al di sotto delle arcate, ragion per cui l'assemblaggio avviene a terra e quindi la trave completa viene movimentata tramite l'autogrù e fissata alla struttura.



Figura 128. Vista relativa al getto in cls e successiva posa dei profili curvi di copertura, stralcio della tavola 6.05 b, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Fase di cantiere 4: la struttura in acciaio viene ultimata con la posa dei tubolari, questi vengono ancorati alle travi curve da operai con l'ausilio di opere provvisorie, come si vede in figura. E' quindi possibile movimentare e posare i pannelli sandwich, questi vengono sollevati tramite gli automezzi telescopici e fissati alla struttura in acciaio.



Figura 129. Vista relativa alla posa dei tubolari e dei pannelli sandwich, stralcio della tavola 6.05 b, *Fasi costruttive*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

6.3 Strategie energetiche

Il completamento di una corretta progettazione è senza dubbio l'individuazione di strategie energetiche vantaggiose e adeguate all'oggetto in questione. Tali strategie possono essere attive o passive ma in ogni caso devono garantire massimo comfort abitativo e riduzione dei consumi. Nel seguente paragrafo viene proposta una descrizione di tutti quegli aspetti tecnologici presenti in questo progetto che fanno parte della progettazione energetica. Al fine di progettare un edificio energeticamente efficiente, è stato proposto l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili, oltre che strategie di involucro. Nel seguente paragrafo verranno evidenziate le soluzioni energetiche proposte per questo intervento, lasciando al capitolo sulla progettazione impiantistica l'approfondimento e il dimensionamento degli elementi scelti.

Di seguito si riportano in maniera schematica le soluzioni scelte per la realizzazione di un progetto energeticamente efficiente:

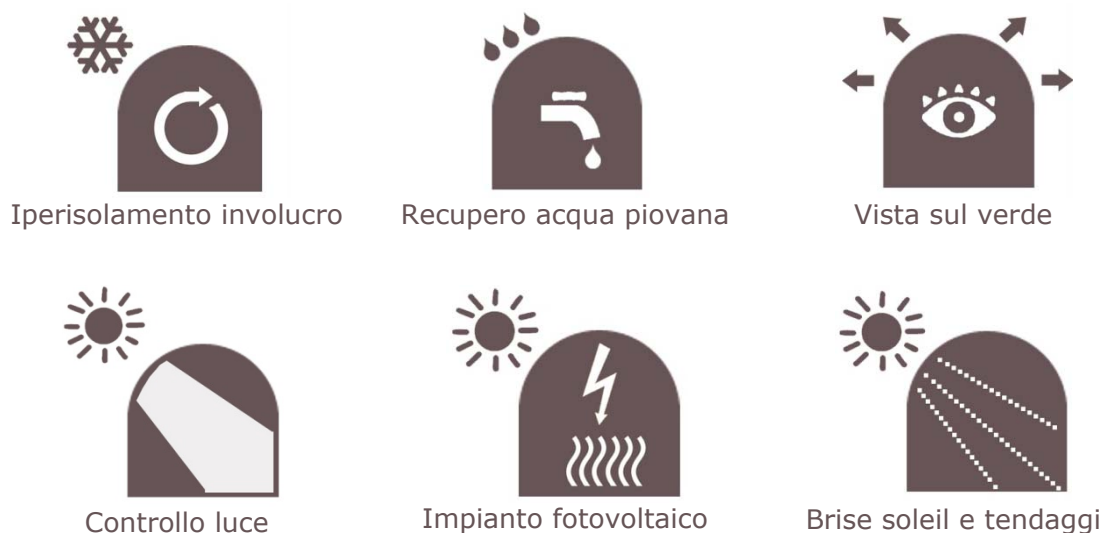


Figura 130. Strategie energetiche, stralcio della tavola 6.06, *Schematic design*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Una volta determinate le strategie da utilizzare, è stato studiato il comportamento dell'edificio durante i vari periodi dell'anno. Infatti, per fare un'analisi completa a 360°, è necessario valutare la risposta dell'edificio in qualsiasi situazione plausibile. Come noto, ciò che determina le problematiche principali di un edificio sono le condizioni climatiche. Ragione per cui è stato analizzato l'edificio in tre diversi periodi dell'anno: inverno, estate, stagione intermedia.

Funzionamento stagione invernale

Come si vede nello schema riportato sopra, la prima strategia utilizzata è stata quella dell'iperisolamento dell'involucro esterno. Quest'ultimo infatti garantisce per le chiusure verticali una trasmittanza pari a $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre per il solaio del piano terra $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Per quanto riguarda invece lo sfasamento, si hanno 9 ore e 34 minuti per le chiusure, mentre per il solaio 5 ore e 17 minuti. Pertanto durante la stagione invernale questo tipo di involucro permette il contenimento delle

dispersioni termiche per trasmissione verso l'esterno, oltre che garantire un elevato livello comfort termo igrometrico. Queste sono le motivazioni per cui è stata scelta una prima strategia di questo tipo. Inoltre, parlando sempre di involucro, i serramenti con vetri basso emissivi consentono un isolamento ottimale dell'edificio; questo è un dato da tenere in considerazione dato che tutte le facciate dell'edificio si presentano vetrate. I serramenti possiedono un sistema di schermatura mobile, il quale può essere regolato a piacimento in base alle esigenze. Nella stagione invernale, questo tipo di strategia molto semplice, permette di posizionare le schermature in modo tale da permettere l'ingresso della radiazione solare all'interno dell'edificio, tramite i serramenti.

Fa parte della strategia impiantistica la ventilazione meccanica; infatti, data la natura dell'edificio, la ventilazione naturale risulta difficile, in questo modo vengono garantiti il numero di ricambi d'aria richiesti immettendo nell'ambiente aria calda. Inoltre questo tipo di impianto ha il compito di modificare i parametri di umidità presenti nell'aria, si occupa quindi del suo trattamento.

Funzionamento stagione estiva

Durante il periodo estivo l'edificio cerca di garantire negli ambienti interni una temperatura prossima ai 24°-26°C, minimizzando al massimo l'interazione con l'esterno. In seguito alla analisi eseguite sull'ombreggiamento dell'edificio, sono stati posizionate dei sistemi di frangisole nella parte dell'edificio rivolta a sud. Pertanto, tutte le schermature, fisse e mobili, proteggono le superfici vetrate dalla radiazione diretta del sole e consentono di regolare la luminosità interna degli ambienti evitando fenomeni di surriscaldamento e abbagliamento.

Questa è stata la strategia utilizzata per quanto riguarda l'involucro esterno, considerando invece il comfort all'interno, vi è un impianto di climatizzazione che si occupa di raffrescare gli ambienti. Anche durante la stagione estiva il trattamento dell'aria è garantito dall'impianto di ventilazione meccanica.

Funzionamento stagioni intermedie

Nelle stagioni intermedie il comportamento dell'edificio è decisamente variabile, infatti esso è legato alle condizioni climatiche della giornata. Le parti vetrate del centro IN-ARCH possiedono serramenti apribili su affacci con aree verdi, i quali possono favorire la ventilazione naturale dell'ambiente. Al tempo stesso le schermature solari fisse permettono solo parzialmente l'ingresso di radiazione solare all'interno dell'edificio, mentre le schermature mobili sono regolabili dall'utenza in base alle esigenze della giornata.

Di seguito vengono proposti due schemi riassuntivi che mostrano tutte le strategie menzionate sopra e utilizzate per la progettazione energetica all'edificio.

SCHEMATIC DESIGN_STAGIONE INVERNALE

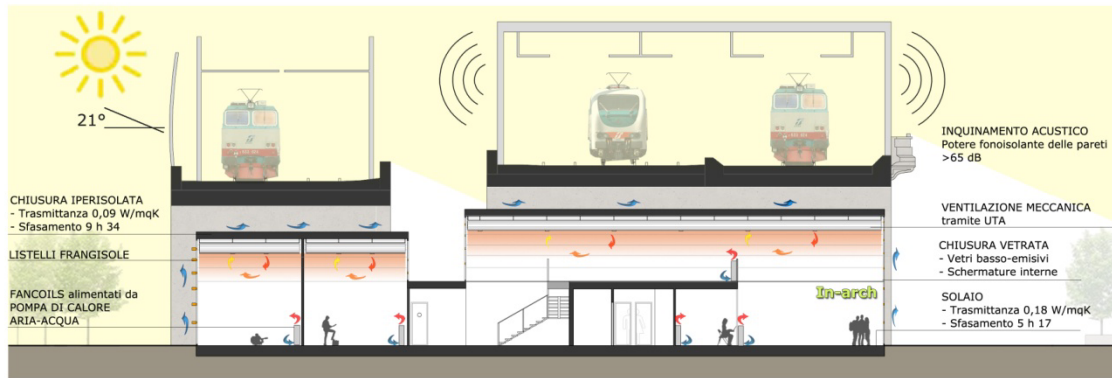


Figura 131. Stralcio della tavola 6.06, *Schematic design*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

SCHEMATIC DESIGN_STAGIONE ESTIVA

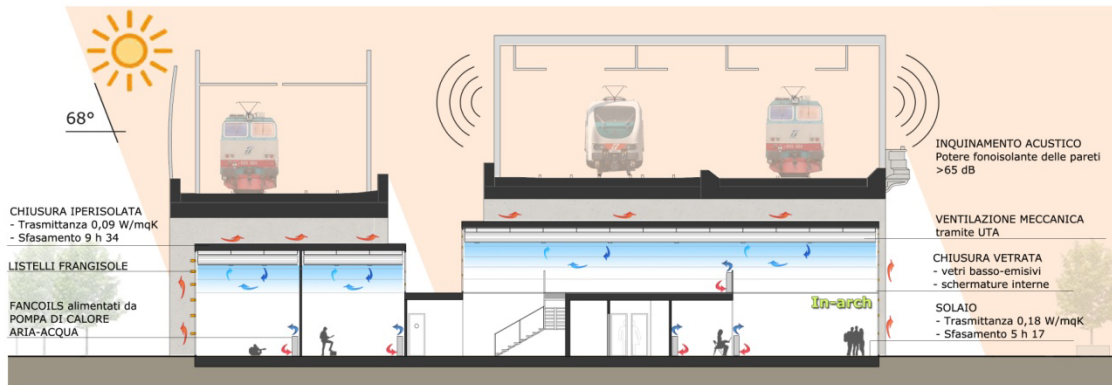


Figura 132. Stralcio della tavola 6.06, *Schematic design*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

6.4 Illuminotecnica

In questo paragrafo si trattano gli studi illuminotecnici. Il primo approccio è stato quello di valutare le ombre portate dal contesto sugli edifici costruiti al di sotto delle arcate attraverso il software Ecotect. In questo modo è stato possibile valutare l'ombreggiamento dei viadotti sul nuovo costruito. In seguito l'analisi illuminotecnica, effettuata con il software Velux Daylight Visualizer, si è soffermata sul centro ricreativo con lo studio del fattore di luce diurna nel periodo estivo ed invernale. L'analisi dell'illuminanza, invece, è stata svolta per i locali del centro ricreativo che richiedono maggiore luce: le sale studio, di cui una ha affaccio a nord ed una a sud. Per esse l'illuminanza è stata analizzata durante l'estate, l'inverno e la mezza stagione con condizioni di cielo coperto e sereno per poter valutare le diverse casistiche.

Nozioni preliminari

L'illuminotecnica deriva i suoi principi fondamentali e le grandezze in gioco dalla fotometria, disciplina che studia la luce in funzione dello stimolo prodotto sull'occhio umano. Il raggiungimento delle condizioni di benessere visivo si ottiene sfruttando l'apporto di luce naturale e artificiale favorendo, fin dove possibile, la prima opzione. Infatti la luce naturale garantisce una migliore resa dei colori e qualità luminosa, oltre ad emettere, se ben progettata, un sensibile risparmio energetico. L'illuminotecnica si occupa di illuminazione naturale e artificiale, con lo scopo di assicurare all'uomo adeguate condizioni visive. Più precisamente l'illuminazione d'interni deve permettere lo svolgimento dei compiti visivi e creare le condizioni di comfort visuale, da cui dipende a sua volta il comfort mentale nei riguardi dell'ambiente visivo.

Per raggiungere questo scopo si utilizzano una serie di informazioni illuminotecniche, facendo particolare attenzione ad alcune grandezze fotometriche che misurano la quantità di energia all'interno dello spettro visibile, in maniera relativa alla sensibilità dell'occhio umano. Le grandezze fondamentali a questo fine sono le seguenti:

- flusso luminoso (f): indica la quantità di energia emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo; viene misurato in lumen (lm);
- intensità luminosa (I): è il flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme in una determinata direzione nell'angolo solido unitario; la sua unità di misura è la candela (cd);
- illuminamento (E): è il rapporto tra il flusso luminoso che incide su una superficie e l'area dell'elemento preso in esame; unità di misura (lux);
- luminanza (L): è il rapporto tra intensità luminosa di una sorgente nella direzione di un osservatore e la superficie emittente apparente, così come viene vista dall'osservatore stesso. E' espressa in cd/m^2 , unità di misura indicata anche con il nome di (nit). La grandezza è indicativa del fenomeno di abbagliamento che può indurre una sorgente.

Per garantire un ottimo comfort visivo all'interno degli ambienti è necessario riuscire a controllare queste variabili progettuali (misurate in lux) che variano a seconda degli ambienti presenti all'interno di un edificio:

- zone conversazione e passaggio: 50 - 100 - 150 (lux)
- zona lettura: 200 - 300 - 500 (lux)
- zona scrittura: 300 - 500 - 750 (lux)

Parametri progettuali della luce naturale

Per ottenere condizioni di benessere visivo si fa ricorso, in maniera sempre crescente, al daylighting che consiste nell'uso funzionale della luce naturale per minimizzare l'esigenza di luce artificiale negli edifici.

Dando priorità al daylighting nelle fasi iniziali della progettazione si ha la possibilità di realizzare elevati gradi di efficienza dell'illuminazione senza aggiungere costi significativi sia in fase di progettazione sia di realizzazione.

Come è possibile leggere nella tabella successiva l'illuminazione naturale porta con se non solo vantaggi ma anche svantaggi. Queste vanno necessariamente controllate al fine di evitare situazioni di elevato discomfort in determinati periodi dell'anno.

Il progettista può usufruire di alcuni parametri fondamentali, i cui valori di riferimento sono tabellati nelle apposite normative, come: il fattore di luce diurna (FLD), il rapporto illuminante (RI) o l'abbagliamento.

Il fattore di luce diurna

Uno dei parametri che aiuta a determinare la qualità di illuminazione naturale all'interno di un ambiente è il fattore di luce diurna (FLD). E' definito come il rapporto tra l'illuminamento medio misurato in un punto del locale e l'illuminamento misurato all'esterno, su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzione, escludendo da entrambe le misure la luce solare diretta.

Il fattore di luce diurna si determina attraverso la seguente espressione:

$$FLDM = (A_f \cdot t \cdot \varepsilon) \cdot \Psi / A_{tot} \cdot (1 - r_m) (\%)$$

Dove

- A_f è la superficie vetrata della finestra (mq);
- t è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro;
- ε è il fattore finestra, inteso come rapporto tra illuminamento della finestra e radianza del cielo (vale 1 per superficie orizzontale o lucernario e 0,5 per parete verticale non ostruita);
- A_{tot} è l'estensione complessiva delle superfici che delimitano l'ambiente interno (compresa la superficie delle finestre) (mq);
- r_m è il coefficiente medio pesato di riflessione luminosa delle superfici interne;

- Ψ coefficiente che tiene conto dell'arretramento del piano della finestra rispetto al filo esterno della facciata.

Il FLD varia per ogni punto dell'ambiente e diminuisce con la distanza da una finestra. Questo fattore può variare tra l'1% e il 12%, determinando così ambienti poco luminosi con valori inferiori all' 1% e ambienti molto luminosi con valori superiori al 12%.

L'illuminamento di un ambiente è considerato equilibrato quando il rapporto tra il fattore medio di luce diurna (tutto il locale) e il fattore minimo (parte posteriore del locale) è inferiore a 2 e ancora buono se il rapporto è inferiore a 3.

Il rapporto illuminante

Il rapporto illuminante (RI) è definito come rapporto tra la superficie finestrata e la superficie pavimentata di un ambiente. In base alle tipologie del locale sono consigliati diversi valori di RI, che a Milano vengono determinati secondo le indicazioni contenute nel regolamento d'igiene del comune.

Di seguito sono riportati i punti principali relativi ai requisiti d'illuminazione naturale diretta, presenti all'articolo 44, che verranno utilizzati per il calcolo del RI.

- Nel caso di luce proveniente dalle pareti perimetrali esterne degli ambienti abitabili le parti trasparenti, misurate convenzionalmente al lordo dei telai degli infissi, non devono avere area complessiva inferiore a 1/10 di quella della superficie del pavimento degli ambienti stessi quando la profondità del pavimento di ogni singolo ambiente non superi 2,5 volte l'altezza da terra del punto più elevato della superficie finestrata.
- Per profondità 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.
- La superficie illuminata che deve essere computata in tabella sul progetto è la superficie totale dell'apertura finestrata detratta l'eventuale quota inferiore fino ad un'altezza di 60 cm e la quota superiore eventualmente coperta da sporgenze, aggetti, velette, (balconi, coperture, ecc.) superiore a cm 150 calcolata per un'altezza $p=L/2$ (dove p = proiezione della sporgenza sulla parete e L = lunghezza della sporgenza dall'estremo alla parete, in perpendicolare).
- La porzione di parete finestrata che si verrà a trovare nella porzione "P" sarà considerata utile per 1/3 agli effetti illuminanti.

Abbagliamento

Un parametro che è necessario controllare è l'abbagliamento, che si verifica quando la luminanza della sorgente luminosa è maggiore della luminanza media del luogo in cui l'osservatore si trova.

La presenza di abbagliamento genera discomfort e ostacola lo svolgimento corretto delle varie attività. Per valutare l'abbagliamento si utilizza l'indice DGI (Daylight Glare Index) definito dalla norma UNI 10840:2000.

Il DGI è forse l'indice più noto e diffuso per la valutazione dell'abbagliamento molesto da luce naturale. La valutazione del DGI risulta non molto semplice ed immediata, sia per la determinazione dei parametri geometrici che compaiono nella relazione che lo definisce, in particolare angolo solido e indice di posizione, sia per la determinazione dei valori di luminanza percepiti dall'osservatore, che peraltro va eseguita nel minor tempo possibile, data la variabilità della sorgente naturale.

Gradi di percezione dell'abbagliamento (DGI):

- Appena percettibile: 16-18
- Appena accettabile 20
- Limite tra comfort e discomfort 22
- Appena non confortevole 24-26
- Appena intollerabile 28
- Intollerabile >28

Analisi ombreggiamento

Come si è detto in precedenza, l'analisi dell'ombreggiamento è stata svolta con il software Ecotect sull'intera area di progetto per poter valutare le ombre portate dagli edifici circostanti. Le analisi sono state svolte per tre stagioni: la mezza stagione (21 marzo), l'estate (21 giugno) e l'inverno (21 dicembre). Inoltre, per ogni stagione, si è valutato l'ombreggiamento alle ore 9, 12 e 17, affinché l'analisi fosse completa. In conclusione si nota che per gran parte dell'anno, soprattutto nei mesi più caldi, le ombre portate sono insufficienti alla schermatura dei prospetti sud. Si è quindi scelto di adottare delle schermature fisse per garantire un migliore comfort termico e visivo.

Mezza stagione – 21 marzo

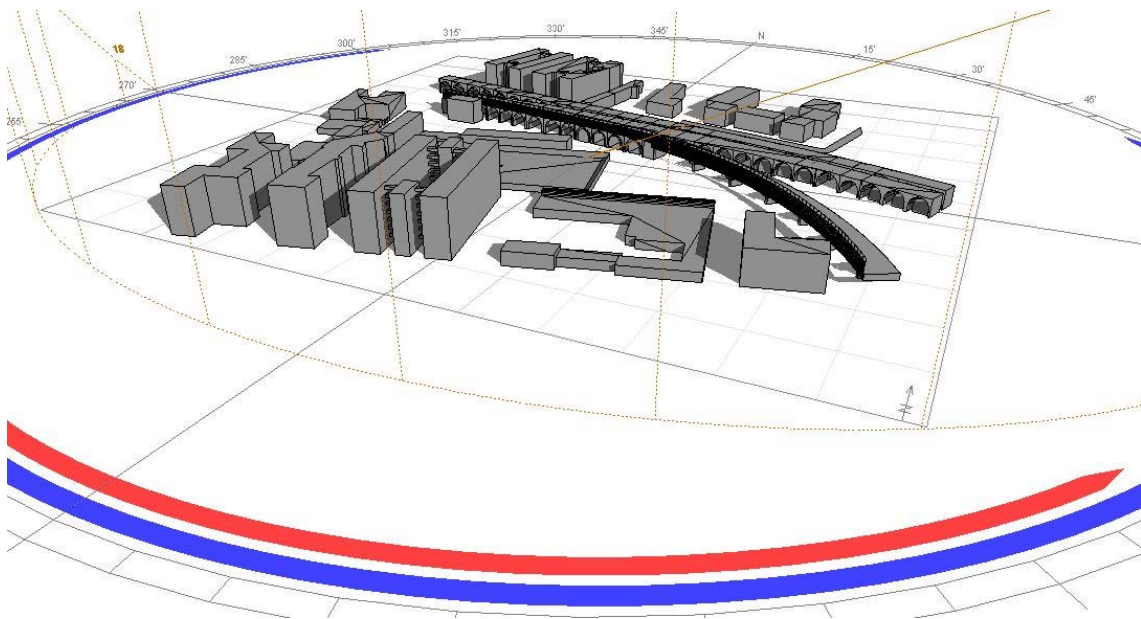


Figura 133. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 9. Fonte: software Ecotect

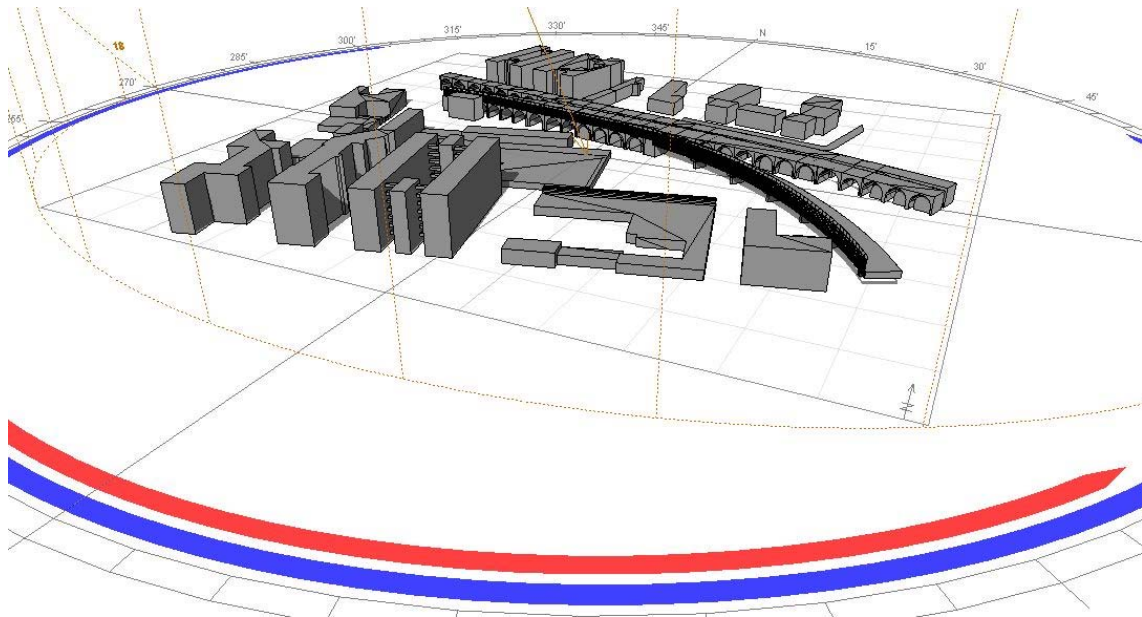


Figura 134. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 12. Fonte: software Ecotect

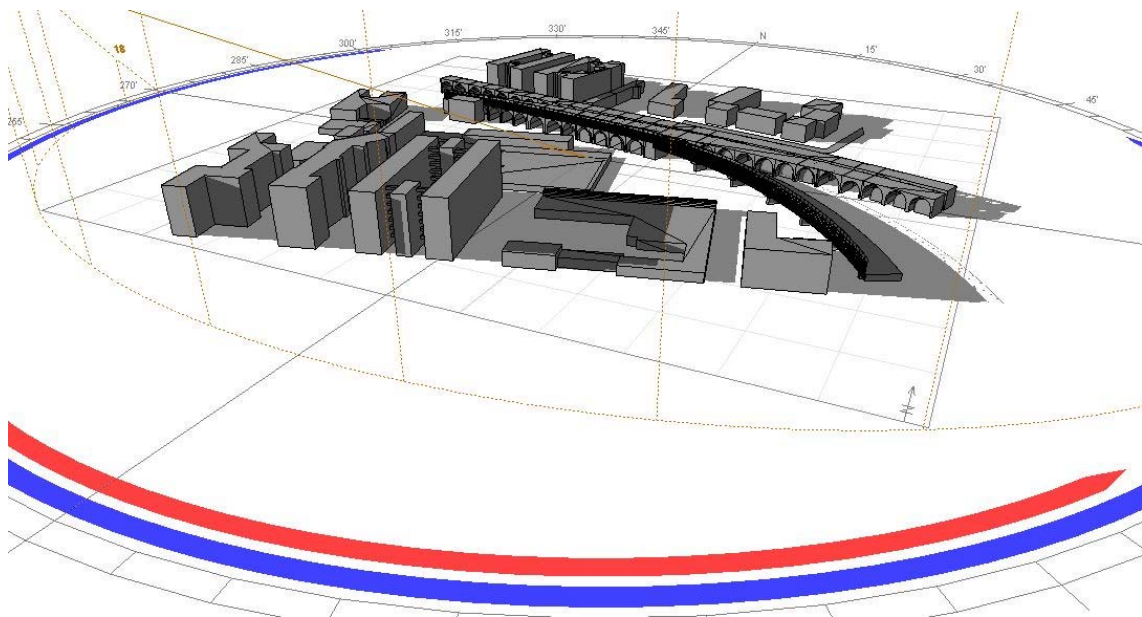


Figura 135. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 17. Fonte: software Ecotect

Estate – 21 giugno

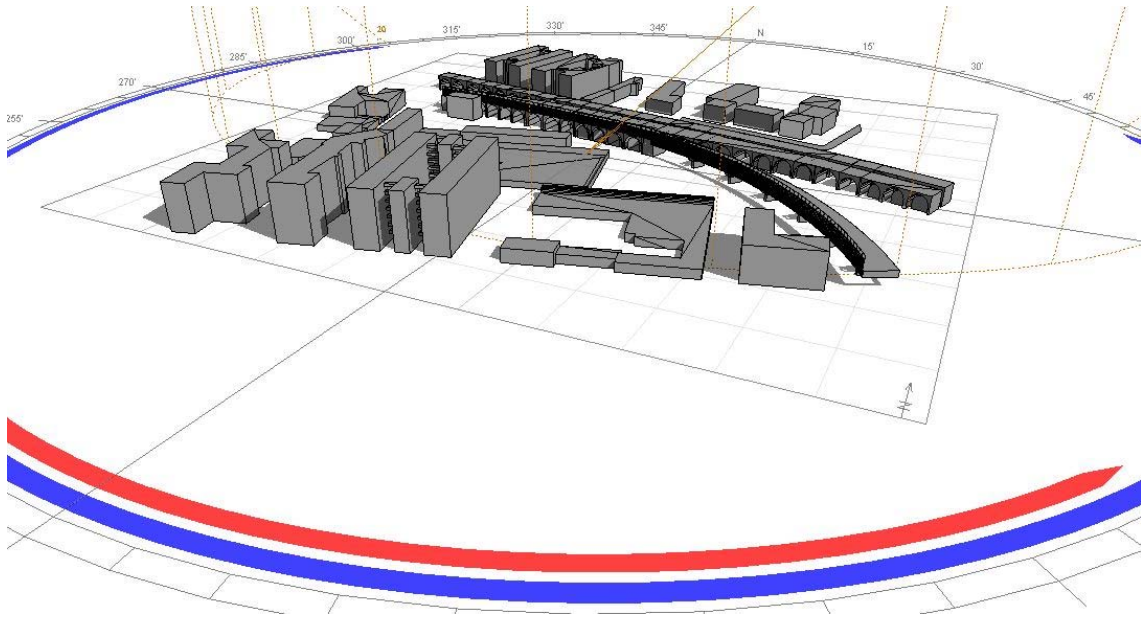


Figura 136. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 9. Fonte: software Ecotect

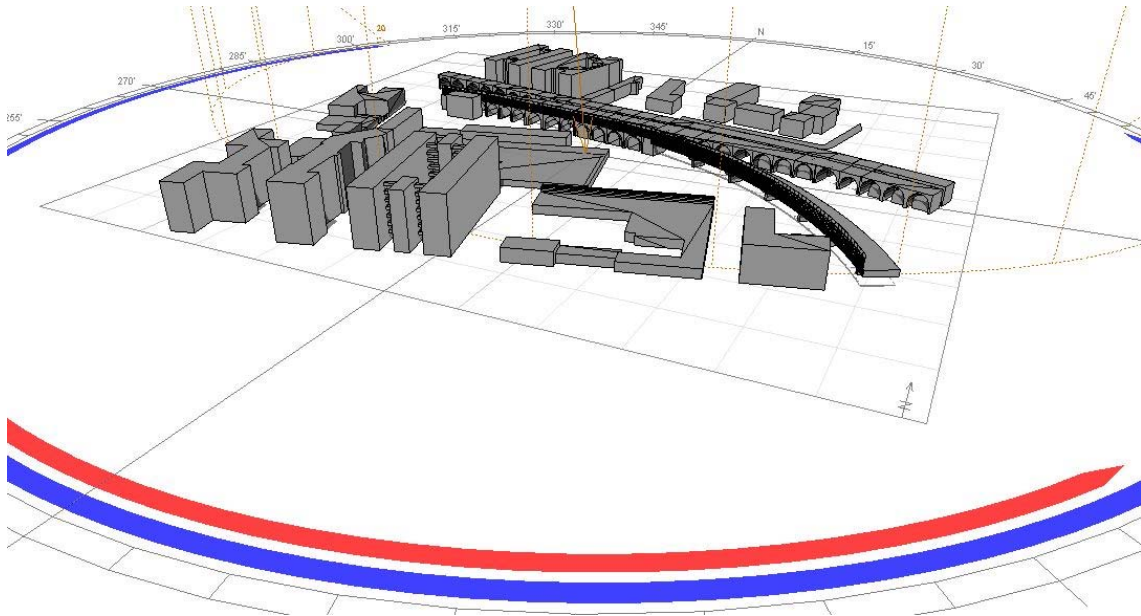


Figura 137. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 12. Fonte: software Ecotect

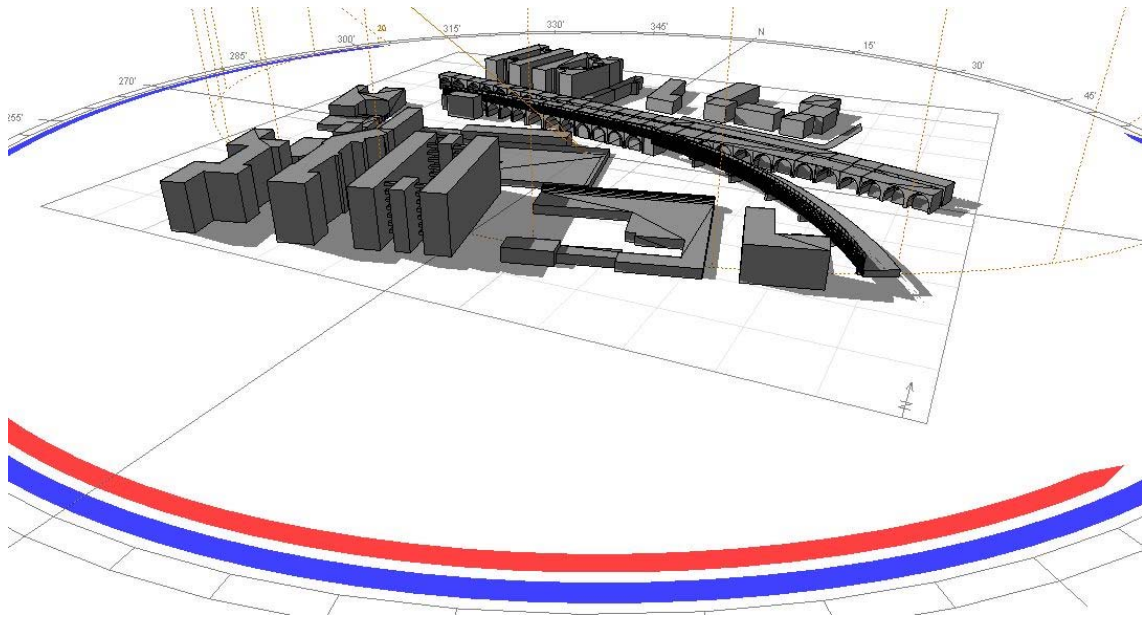


Figura 138. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 17. Fonte: software Ecotect

Inverno – 21 dicembre

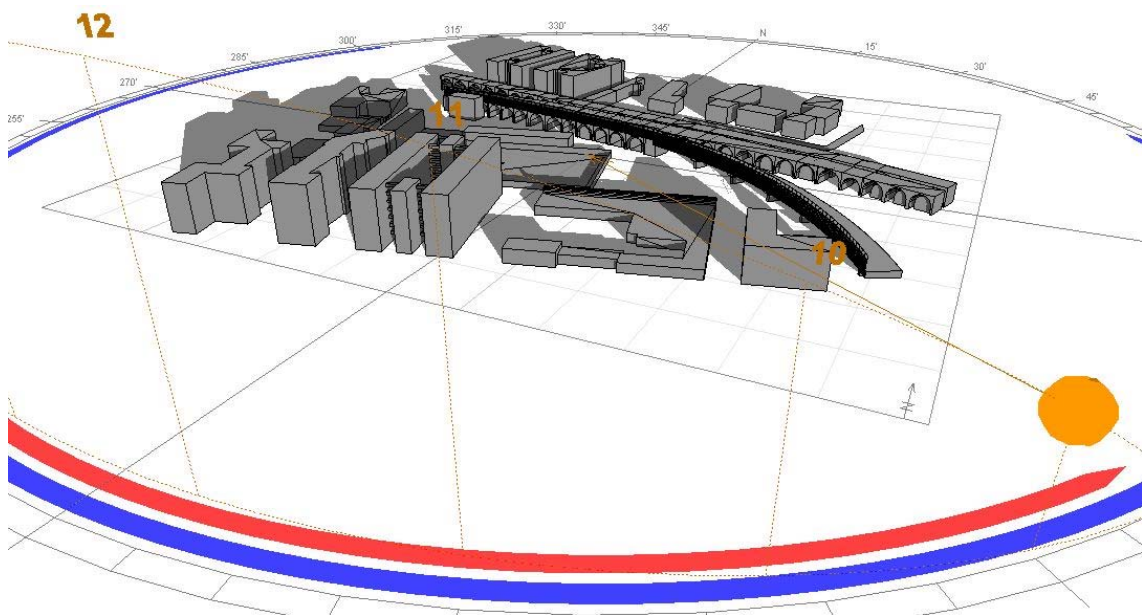


Figura 139. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 9. Fonte: software Ecotect

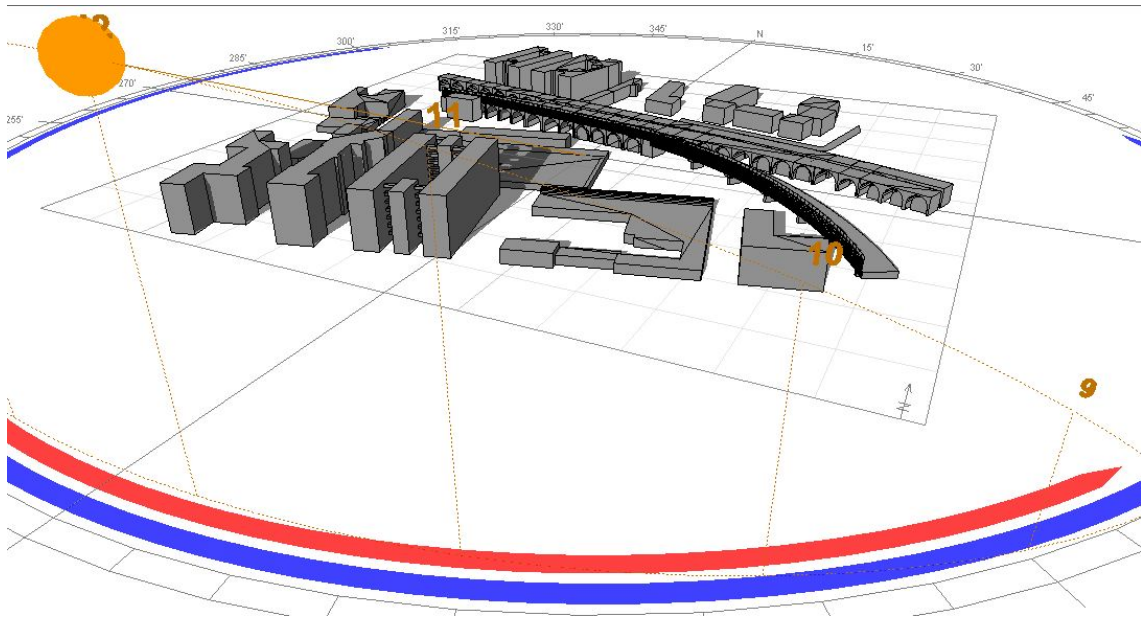


Figura 140. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 12. Fonte: software Ecotect

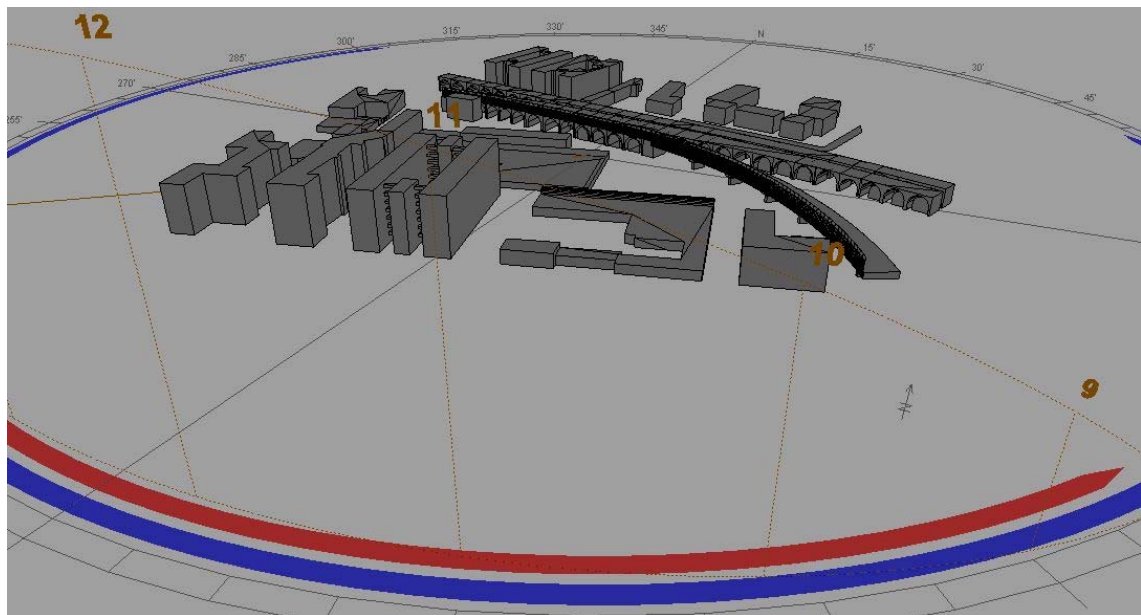


Figura 141. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 17. Fonte: software Ecotect

Fattore di luce diurna

Il fattore di luce diurna valuta l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente. Essa è data dall'apporto di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne, dalle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane e dalle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente. Dall'analisi effettuata si nota che gli ambienti del centro ricreativo sono ben illuminati in prossimità delle grandi vetrate. Nelle zone più centrali invece, la luce naturale dovrà essere integrata con quella artificiale.

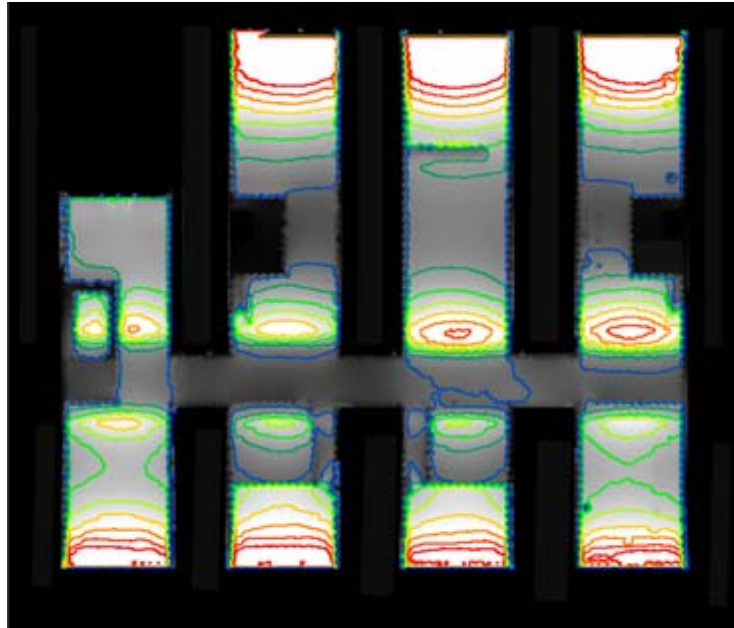


Figura 142. Fattore di luce diurna 21 giugno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

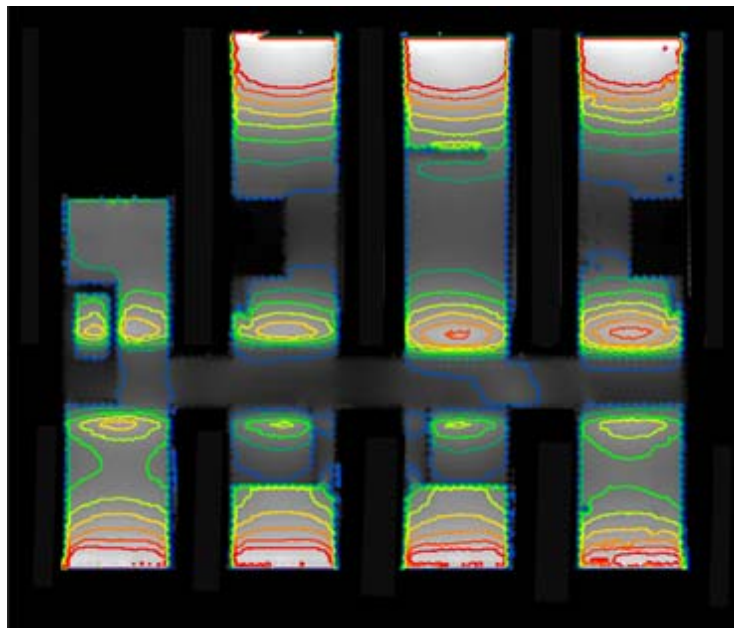


Figura 143. Fattore di luce diurna 21 dicembre. Fonte: Velux Daylight Visualizer

Illuminanza

L'illuminanza è stata analizzata per la mezza stagione (21 marzo), l'estate (21 giugno) e l'inverno (21 dicembre) con condizioni di cielo coperto e sereno. Questo per poter valutare le condizioni di illuminazione per un'ampia casistica con situazioni favorevoli e sfavorevoli. Inoltre, come si è detto, è stata svolta per due differenti sale studio con affacci opposto (nord e sud). Nella sala studio con affaccio sud si nota che viene quasi sempre garantita sufficiente luce sul piano di studio, anche se nei casi invernali la luce naturale verrà integrata con quella artificiale. Mentre nei casi estivi con eccessiva illuminazione, è stato deciso di dotare le facciate esposte a sud con schermature fisse.

Sala studio 1

Figura 144. Vista sala studio 1. Fonte: Velux Daylight Visualizer

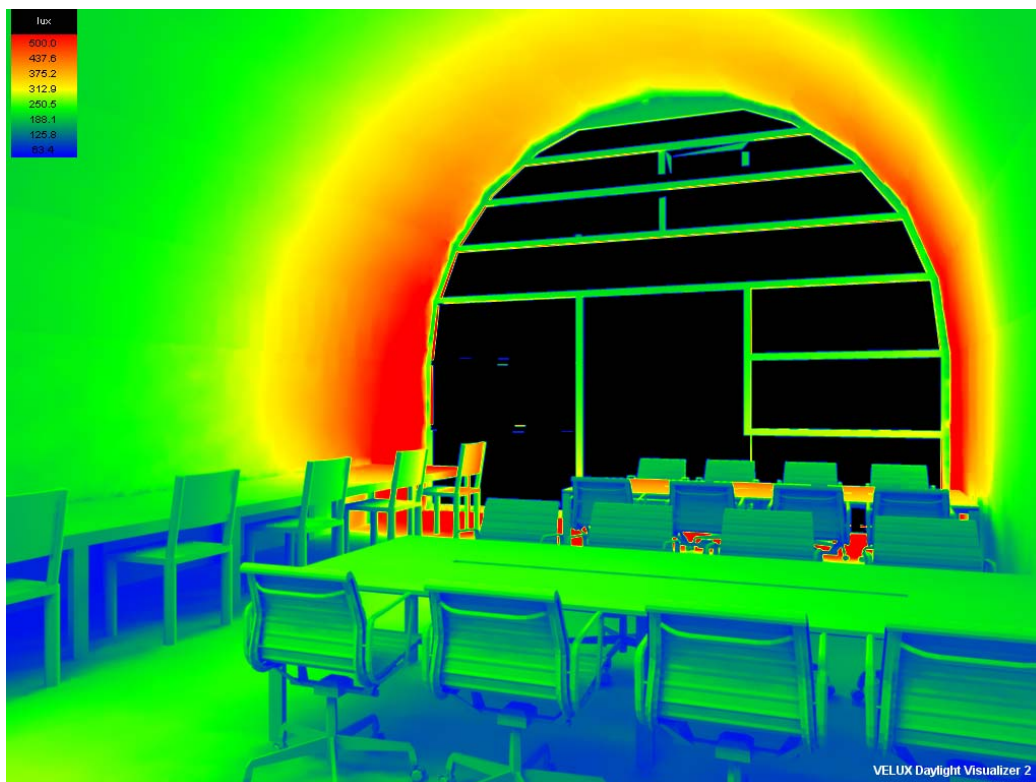


Figura 145. Illuminanza sala studio 1 - 21 marzo cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

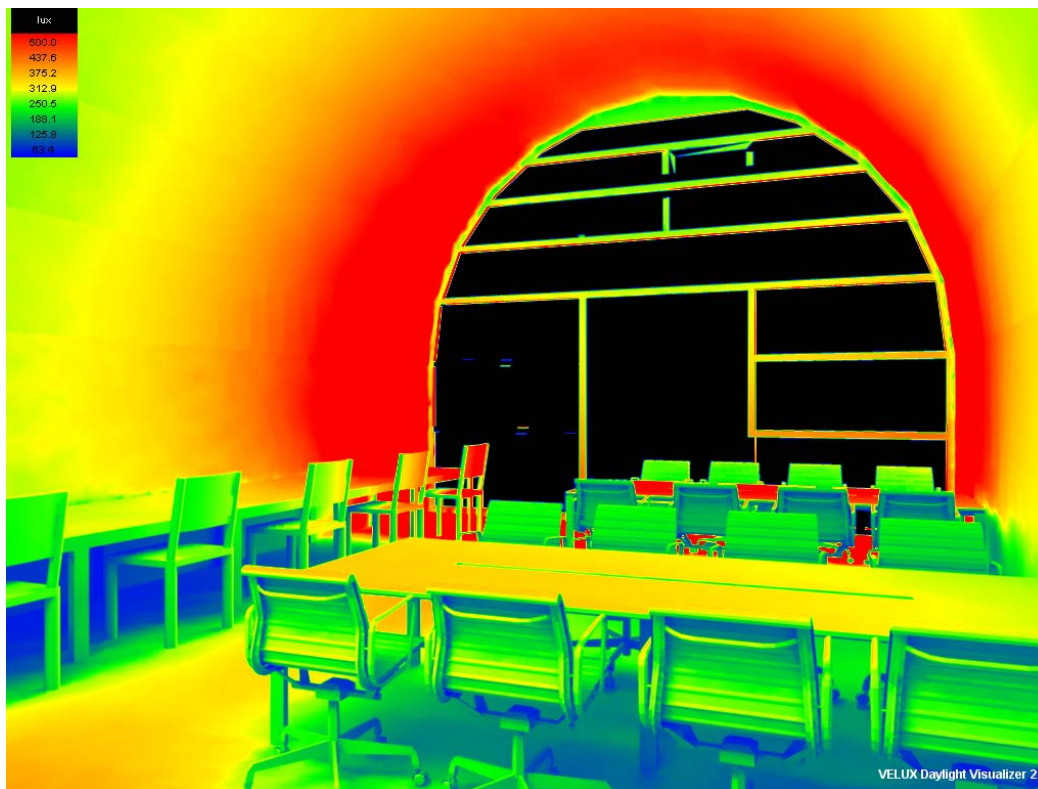


Figura 146. Illuminanza sala studio 1 - 21 giugno cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

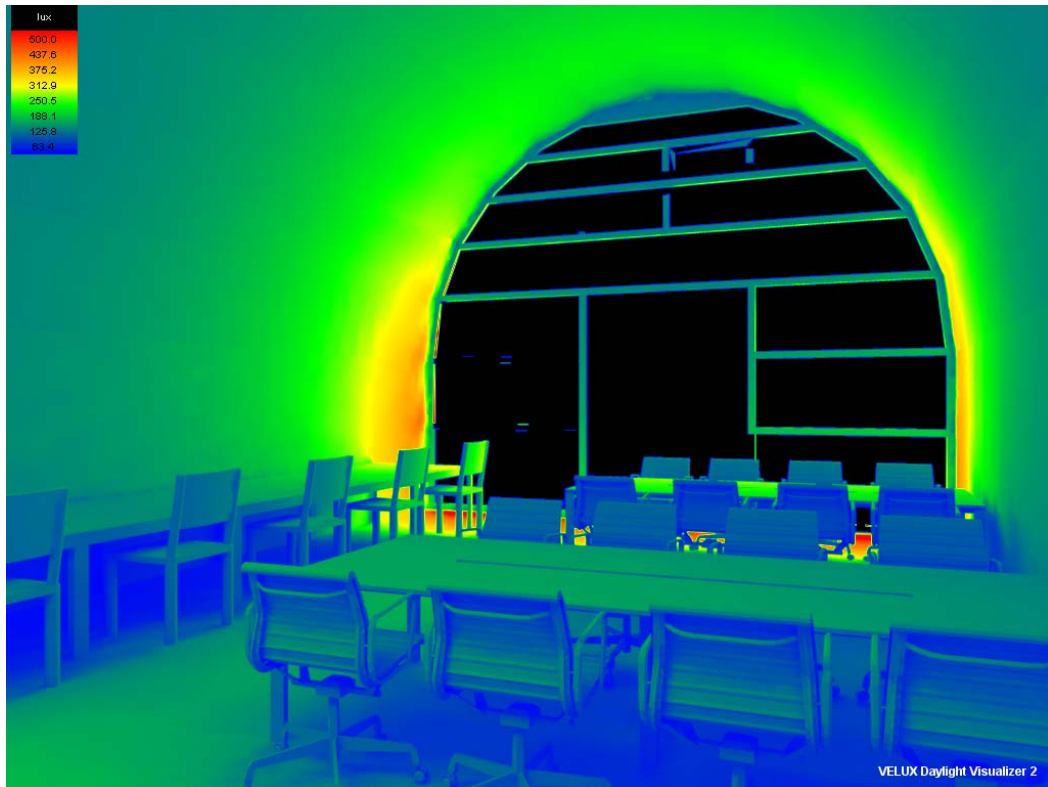


Figura 147. Illuminanza sala studio 1 - 21 dicembre cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

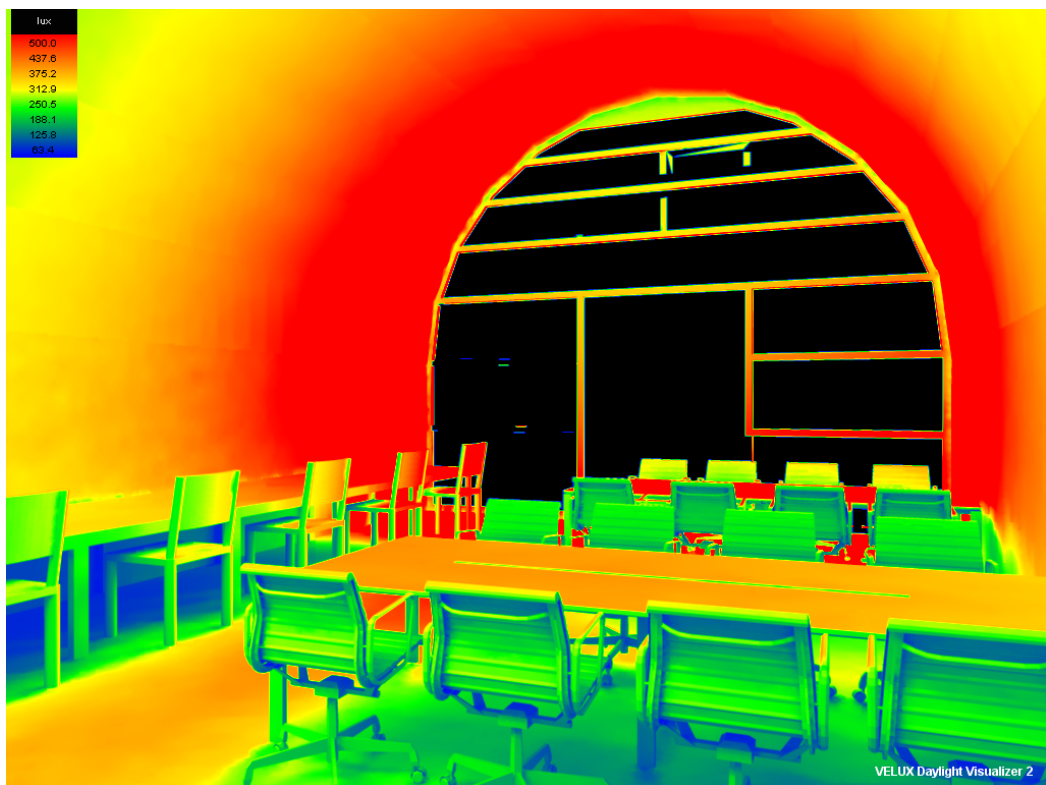


Figura 148. Illuminanza sala studio 1 - 21 marzo cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

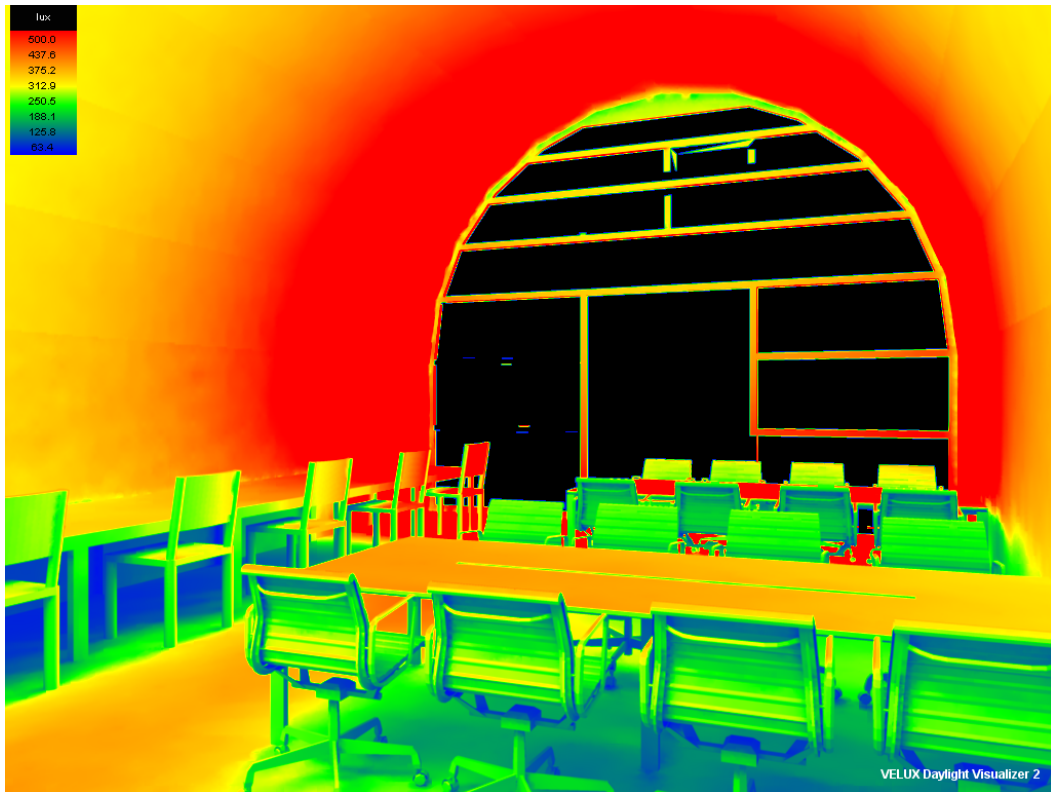


Figura 149. Illuminanza sala studio 1 - 21 giugno cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

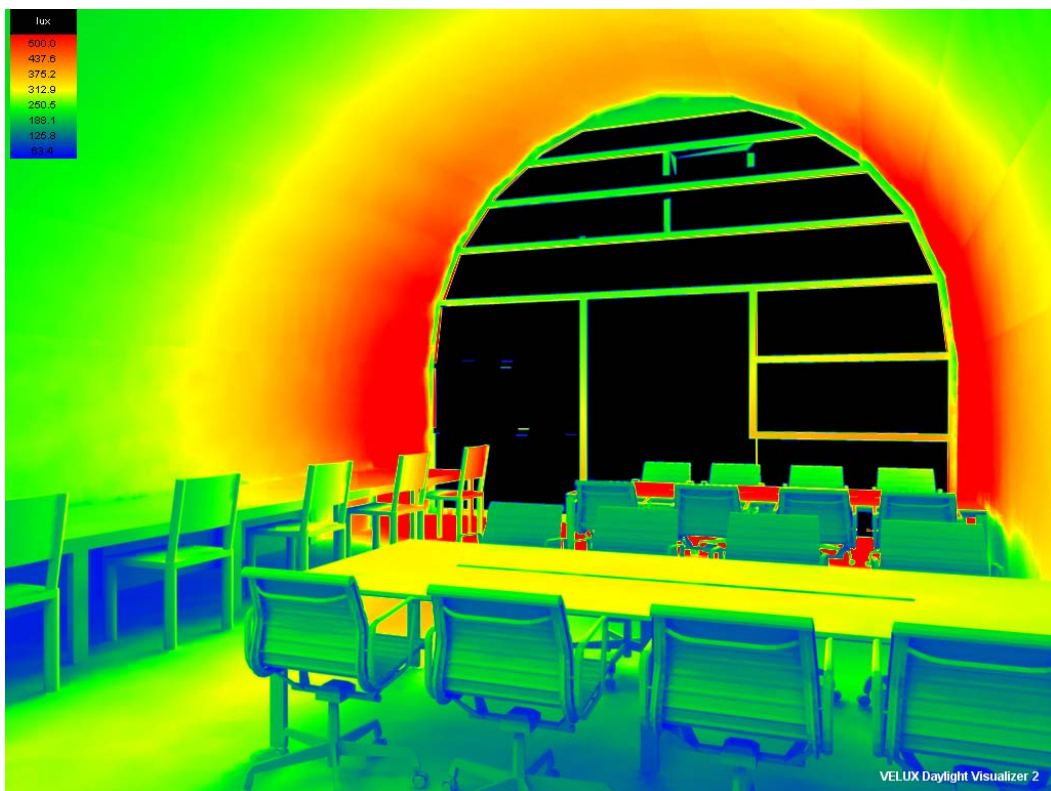


Figura 150. Illuminanza sala studio 1 - 21 dicembre cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

Sala studio 2



Figura 151. Vista sala studio 2. Fonte: Velux Daylight Visualizer

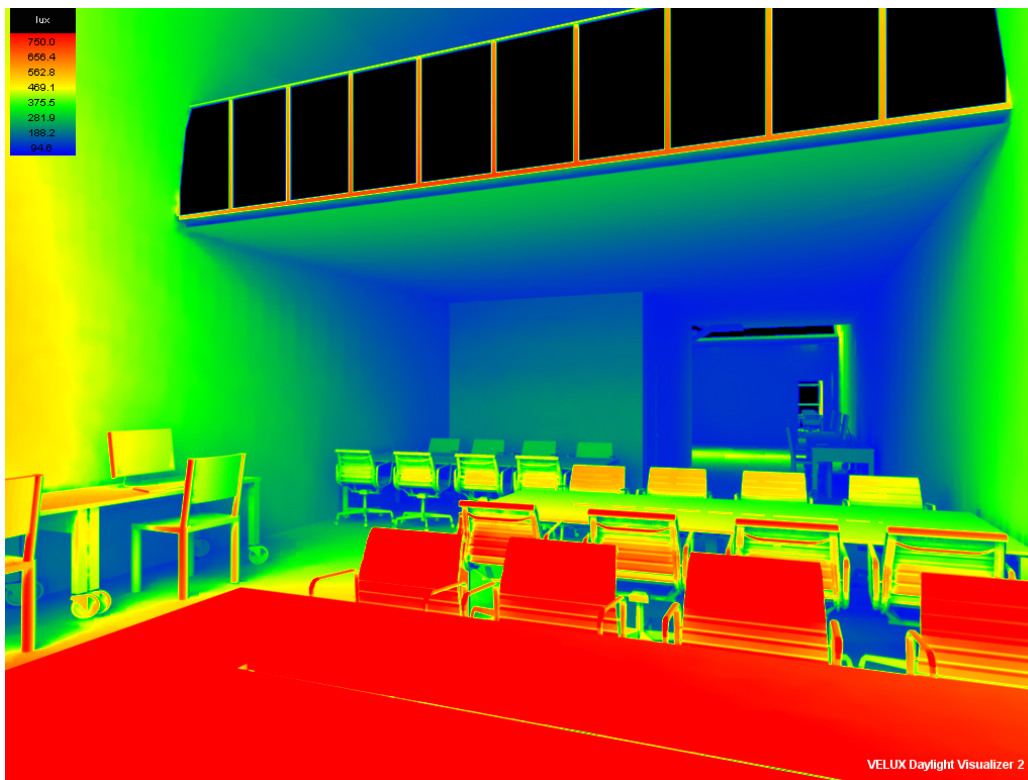


Figura 152. Illuminanza sala studio 2 - 21 marzo cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

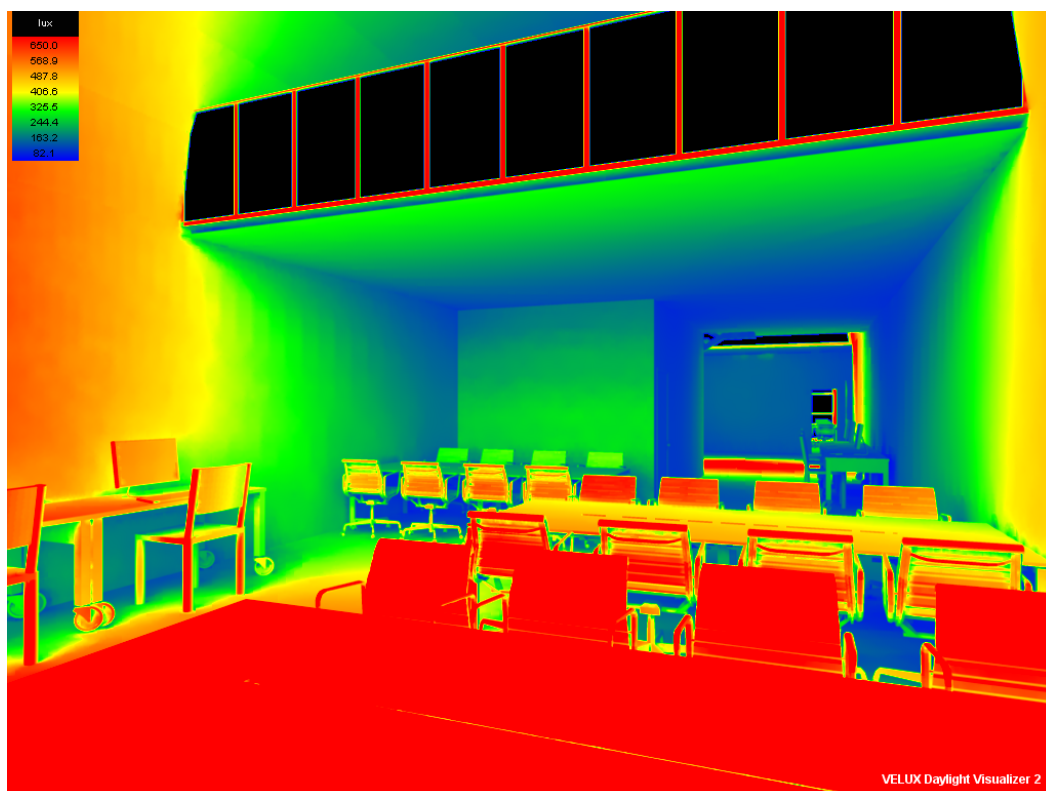


Figura 153. Illuminanza sala studio 2 - 21 giugno cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

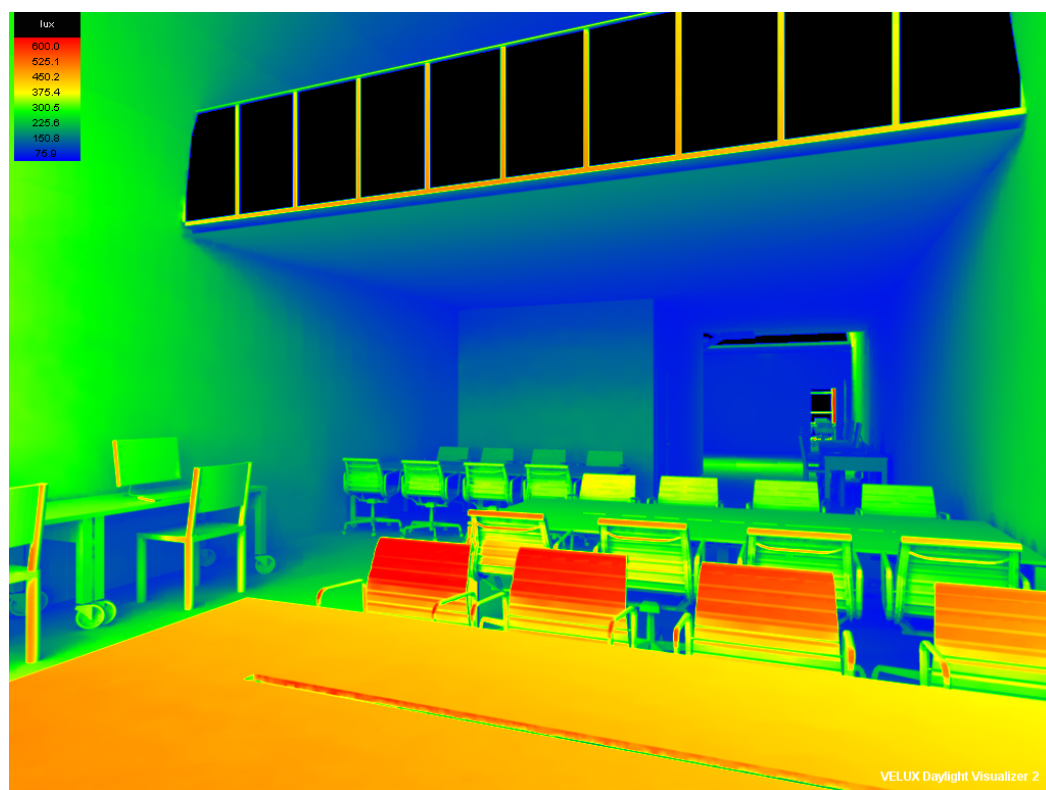


Figura 154. Illuminanza sala studio 2 - 21 dicembre cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer

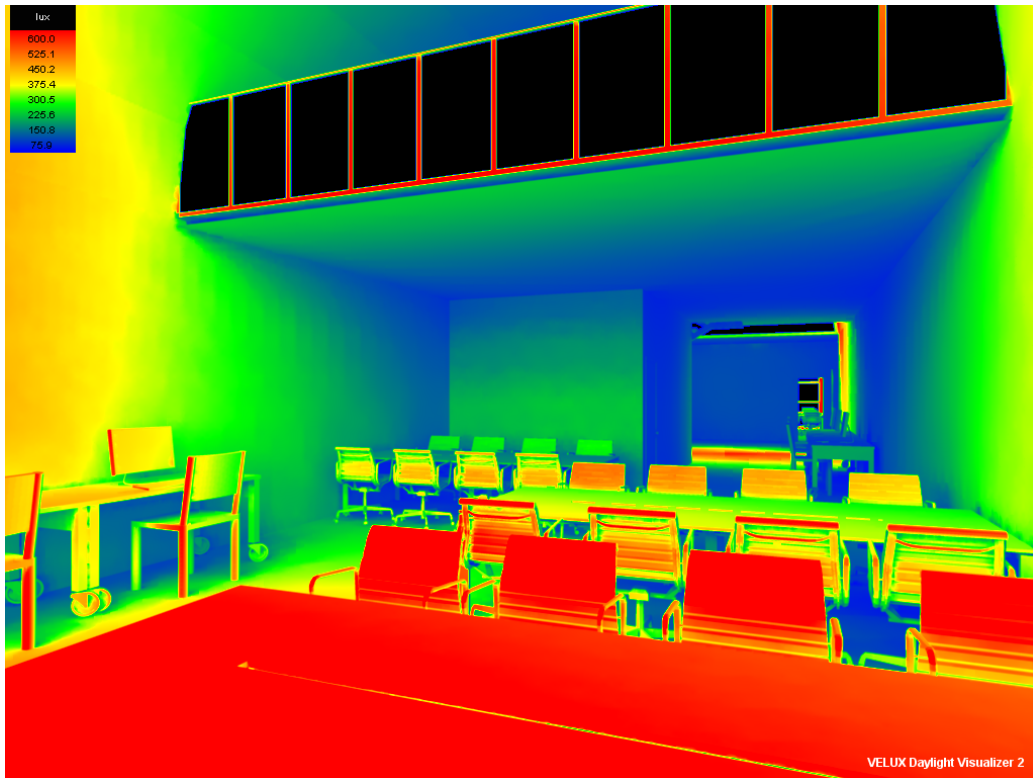


Figura 155. Illuminanza sala studio 2 - 21 marzo cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

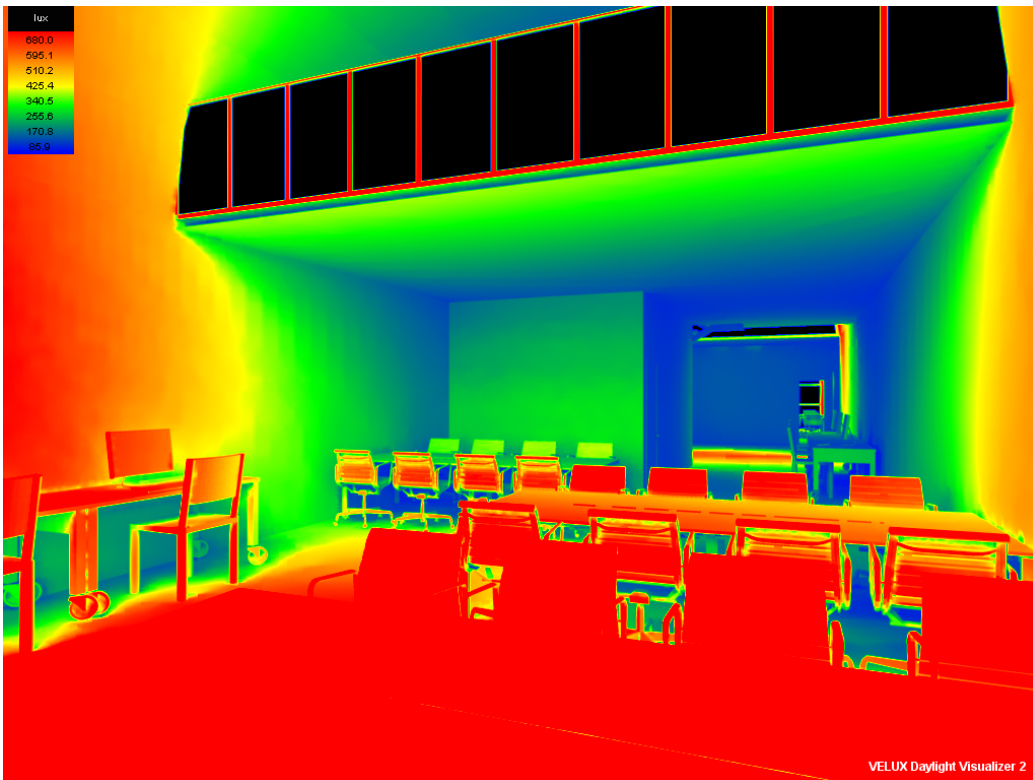


Figura 156. Illuminanza sala studio 2 - 21 giugno cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

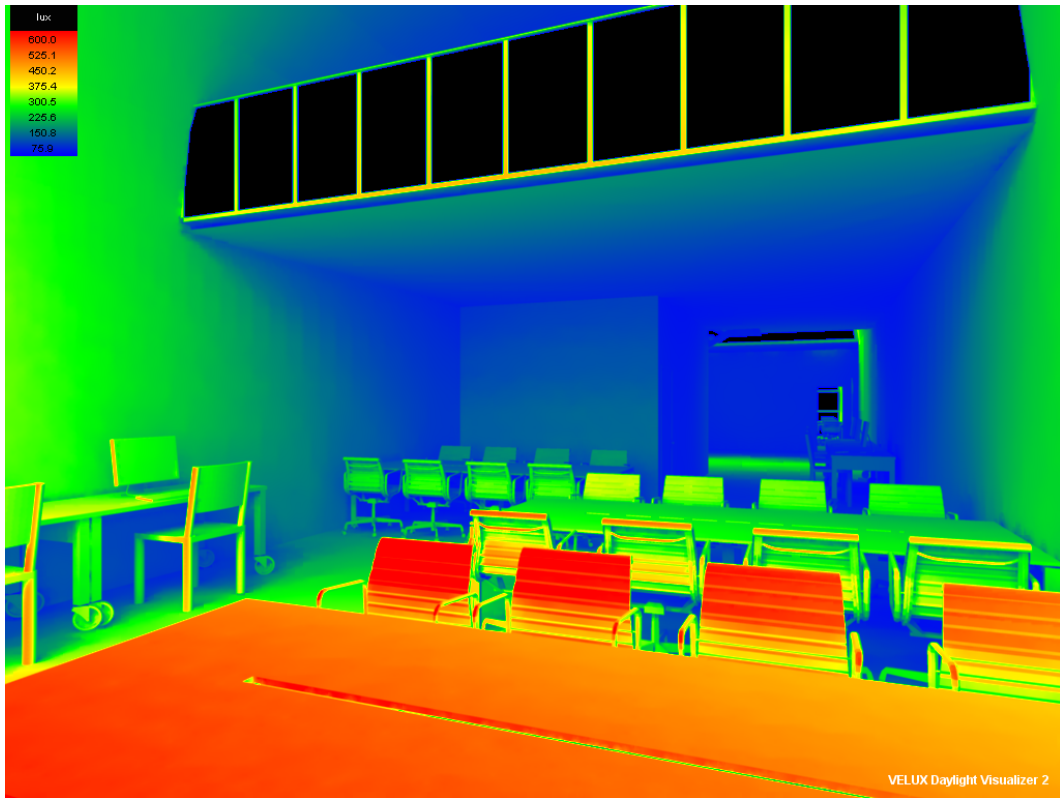


Figura 157. Illuminanza sala studio 2 - 21 dicembre cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer

CAPITOLO 7. LE STRUTTURE

Nel presente capitolo vengono descritte le strutture dei moduli inseriti sotto le arcate e del centro sportivo. In seguito ad uno studio preliminare sulle fondazioni delle arcate esistenti, si è effettuata l'analisi dei carichi (permanenti strutturali, non strutturali e variabili) si è giunti a definire, attraverso le combinazioni di carico esaminate, le dimensioni dei profili in acciaio da utilizzare. Ottenuti i suddetti profili si sono compiute le verifiche strutturali (sulle travi e sul pilastro maggiormente sollecitati), sia per gli stati limite ultimi (SLU), che per gli stati limite di esercizio (SLE).

7.1 Descrizione della struttura

La scelta del materiale strutturale si è subito indirizzata verso l'utilizzo dell'acciaio. Esso presenta le caratteristiche migliori per gli obiettivi di progetto e per la particolarità dello stesso. La sua durabilità, la resistenza alla corrosione, le caratteristiche meccaniche e l'assenza di particolare manutenzione nel tempo hanno confermato l'appropriatezza di questo materiale per il progetto specifico. Inoltre, la facilità di assemblaggio consente di arrivare rapidamente a soluzioni finite. L'acciaio si integra molto bene con la scelta di realizzare soluzioni "a secco", utilizzando pareti facilmente montabili e con brevi tempi di posa. Il materiale acciaio infine si integra molto bene con la tipologia struttura/rivestimento scelta per chiusure e partizioni. Il nuovo progetto strutturale prevede la realizzazione di una struttura completamente indipendente dall'esistente, è infatti fondamentale staccarsi dal viadotto per non avere trasmissione delle sollecitazioni tra le due strutture. Si è scelta quindi come soluzione la realizzazione di una platea di fondazione che faccia da base per i plinti in calcestruzzo armato, sulle quali si poggia la maglia dei pilastri.⁵³

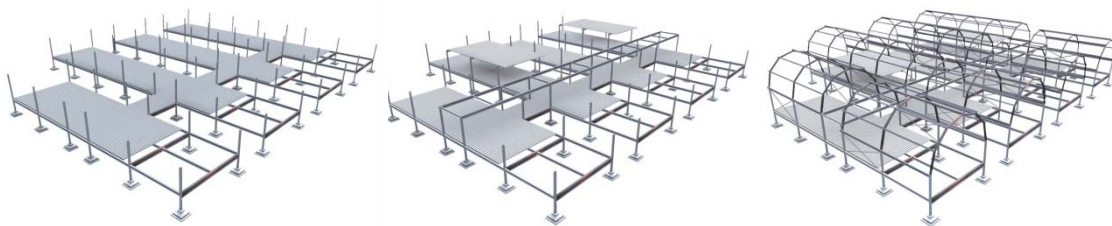


Figura 158. 3d strutturale. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

⁵³ Si rimanda alle tavv. 7.01 a-c

7.2 Verifica delle fondazioni delle arcate anni '30

Ipotesi preliminari

Per effettuare un'analisi strutturale completa, si è verificato il fattore di sicurezza delle fondazioni dell'infrastruttura esistente, la quale risale ai primi decenni del '900. Infatti, i disegni degli anni '30 forniti dall'azienda RFI, presentavano misure incomplete per quanto riguarda i plinti di fondazione; per tale motivo si è pensato fosse opportuno eseguire una verifica sulla capacità portante del terreno. L'obiettivo di questa analisi è quello di interfacciarsi in maniera completa con l'esistente, ricavando una stima, di quanto possano essere profonde le fondazioni dei nuovi fabbricati.

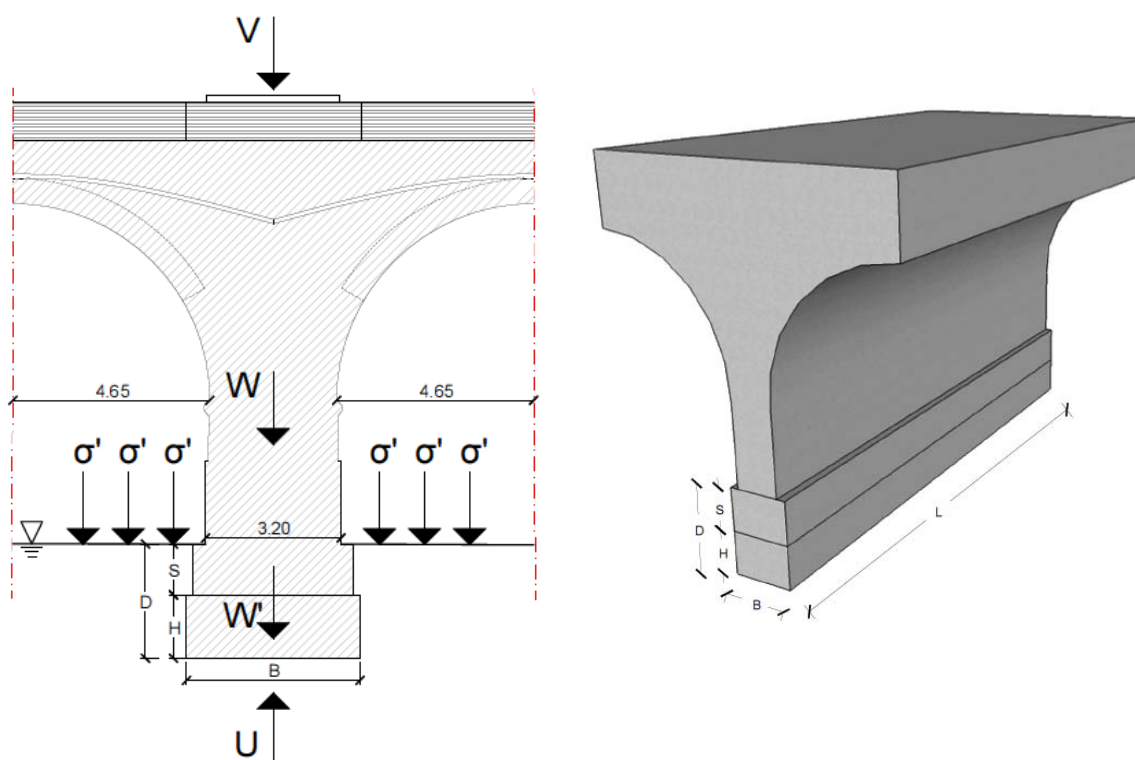


Figura 159. Sezione delle arcate anni'30. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Figura 160. Stralcio tridimensionale del viadotto. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

In figura è riportata la sezione di una parte delle arcate degli anni '30. Dalle misure relative alla sezione dell'impalcato, risulta che l'ultima porzione della fondazione ha una misura incognita H, non si conosce quindi la profondità reale del piano di posa, e di conseguenza non è possibile verificare il fattore di sicurezza della struttura. Tuttavia, dagli elaborati si presume che essa possa essere all'incirca di 2 metri.

Le indagini espone in questo paragrafo precedono la progettazione strutturale dei nuovi edifici al di sotto delle arcate, pertanto la finalità di questo lavoro è quello di definire un'ipotetica profondità della fondazione nella situazione più sfavorevole, ovvero ipotizzando che la pila debba sopportare il carico di un treno merci fermo, oltre che al suo stesso peso. Da sottolineare è il fatto che le fondazioni studiate analizzate hanno uno sviluppo rettilineo, come si può osservare in figura 99,

pertanto non è stata considerata l'eccentricità dovuta al passaggio del treno, dunque tutte le forze che agiscono sulla pila risultano essere unicamente verticali.

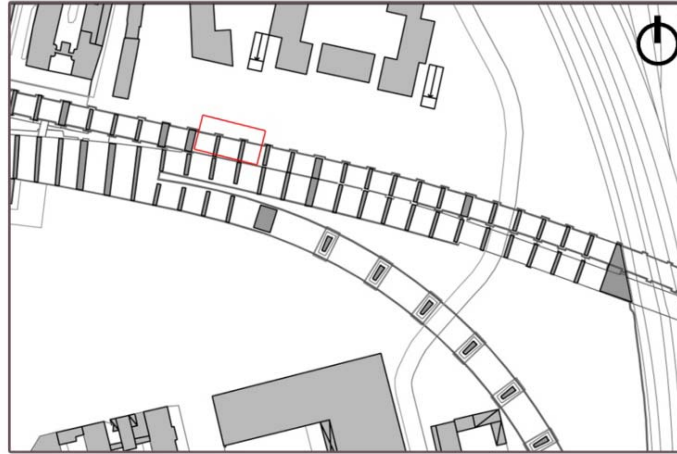


Figura 161. Stralcio planimetrico con riferimento alle fondazioni considerate. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Un'ulteriore precisazione da fare è che i dati i calcoli effettuati in questo paragrafo sono stati eseguiti in maniera semplificata, e sono volti a determinare un ordine di grandezza su cui poter lavorare e portare avanti la progettazione. In ultimo, le verifiche sono state fatte ipotizzando due differenti situazioni: una con terreno sabbioso e una analoga ma con terreno argilloso.

Ipotesi di terreno non coesivo

L'analisi che segue ha come finalità quello di verificare il valore incognito H affinché la fondazione risulti verificata, ovvero che $F_s=3$. Dal momento che non ci è stata fornita la relazione geotecnica del progetto dell'infrastruttura esistente, sono stati ipotizzati i dati riguardanti le caratteristiche del terreno, assumendo plausibile il fatto che questo sia per lo più sabbioso e che il piano di falda coincida con il piano campagna.

Caratteristiche del terreno	
γ_{sat}	20 kN/m ³
ϕ'	35°
c'	0 kN/m ²
γ'	10 kN/m ³

Tabella 3. Dati relativi alle caratteristiche di un terreno ipotizzato non coesivo

Per quanto riguarda invece i dati relativi alla struttura esistente, ci si è basati sulle misure presenti sugli elaborati grafici dell'azienda RFI, che rappresenta la sezione dello stato di fatto di parte dell'infrastruttura ferroviaria. Di seguito si riportano le misure relative alla sezione riportata nell'immagine precedentemente illustrata.

Dati relativi alla fondazione dell'infrastruttura ferroviaria

Y _{cls}	25 kN/m ³
B	4,10 m
S	1,5 m
L	20 m
H	variabile
Volume infrastruttura in cls compresa tra i due interassi (escluso H)	1046,4 m ³

Tabella 4. Dati relativi alle misure della fondazione esistente, la fonte di questi dati sono gli elaborati grafici dell'azienda RFI

Carichi verticali agenti sulla struttura

V = carico di un treno merci agente nella porzione di viadotto compresa tra i due interassi	500 kN
W = carico della sezione considerata	26160 kN
W' = carico della porzione di fondazione di cui non si conosce l'altezza	(25 kN/m ³ ·B·H·L)
U = sottospinta dell'acqua	(10 kN/m ³ ·B·H·L)

Tabella 5. Dati relativi ai carichi verticali agenti sulla struttura esistente

Una volta stabiliti tutti i dati necessari, si è passati al calcolo del carico limite nel lungo termine:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot N_{\gamma} \cdot B \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot d_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot d_q$$

considerando il carico laterale q, determinato dagli sforzi efficaci agenti sul piano di posa della fondazione, pari a $q = \gamma' \cdot (S+H)$.

In questo caso $c'=0$, pertanto una parte dell'equazione risulta nulla.

Per un angolo di attrito pari a 35° consideriamo i seguenti fattori (Vesic, 1975):

Fattori di capacità portante per $\Phi' = 35^{\circ}$

N_q	33,30
N_γ	45,23
N_c	46,12

Tabella 6. Fattori di capacità portante che dipendono dal valore dell'angolo di attrito

Di seguito vengono definiti i coefficienti di forma, inclinazione e profondità in condizioni di lungo termine; ricordando che B, D e L sono le dimensioni della generica fondazione rettangolare, mentre H e N sono rispettivamente le risultanti dei carichi orizzontali e verticali agenti sul piano di posa.

Coefficienti di forma s_q, s_y, s_c

$$s_q = s_y = 1 + 0,1 \cdot \frac{(1 + \sin\phi')}{(1 - \sin\phi')} \cdot \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{(1 + \sin\phi')}{(1 - \sin\phi')} \cdot \frac{B}{L}$$

Coefficienti di inclinazione i_q, i_y, i_c

$$i_y = \left(1 - \frac{H}{N + BLc' \cot\phi'}\right)^{m+1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{N + BLc' \cot\phi'}\right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan\phi'}$$

$$m = \left(2 + \frac{B}{L}\right) / \left(1 + \frac{B}{L}\right)$$

Coefficienti di profondità, con il rapporto $D/B < 1$

$$d_q = 1 + 2 \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 \frac{D}{B}$$

$$d_c = d_q - \left(\frac{1 - d_q}{N_c \tan\phi'}\right)$$

$$d_y = 1$$

Tramite un foglio di calcolo è stato calcolato il valore incognito di H tale per cui il fattore di sicurezza risulti pari a 3. Tuttavia questo valore risulta essere negativo ($H = -1,94$ metri), ciò vuol dire che la fondazione risulta verificata anche per un valore nullo di H. Si sono quindi determinati i termini di carico limite, di esercizio e fattore di sicurezza per un'altezza totale della fondazione pari a 1,5 m, ovvero considerando l'altezza incognita nulla. Considerando questa situazione i coefficienti correttivi sono riportati in tabella:

Coefficienti di forma	
$s_q = s_y$	1,07
s_c	1,15

Coefficienti di inclinazione	
$i_y = i_q = i_c$	1
Coefficienti di profondità	
d_q	1,09
d_y	1
d_c	1,09

Tabella 7. Coefficienti correttivi calcolati considerando un valore $H=2$ metri

Il carico limite risulta essere:

$$q_{lim} = 1585,6 \text{ kN/m}^2$$

Si è quindi passati al calcolo del valore del carico di esercizio, dato dalla sommatoria dei carichi verticali agenti sulla fondazione, esso sarà quindi:

$$q_{es} = \frac{\sum F_z}{BL}$$

dove

$$\sum F_z = W+W'+V-U$$

$$q_{es} = 310,12 \text{ kN/m}^2$$

Il fattore di sicurezza è dato dal rapporto tra il carico limite e il carico di esercizio:

$$F_s = \frac{q_{lim}}{q_{es}}$$

Pertanto è stato calcolato che $F_s = 5,1$.

Come previsto il fattore di sicurezza è pienamente verificato, anche qualora non vi fosse una sottofondazione.

Come già annunciato, il risultato ottenuto non può fornirci dei dati certi, infatti molto probabilmente il valore che si avvicina di più alla reale altezza del piano di posa è quello di 3,5 metri (con $H=2$ metri). Tale conclusione è dettata dal fatto che i disegni della sezione dell'impalcato, ci danno una misura che verosimilmente potrebbe avvicinarsi a questa, inoltre, considerando che il fattore di sicurezza in questa situazione è pari a 7, e che la struttura è funzionante si può affermare che il risultato potrebbe avvicinarsi alla realtà.

Ipotesi di terreno coesivo

Come annunciato precedentemente, i calcoli sopra effettuati sono stati fatti ipotizzando un terreno sabbioso, come lo è d'altronde quello di Milano; ma per essere certi di tale scelta sarebbe opportuno effettuare delle prove in sito per determinare le vere caratteristiche del terreno. Non potendo tuttavia analizzare il terreno in questo senso, ci è sembrato interessante verificare di quanto si

discostino i valori ottenuti, se andassimo a considerare un terreno coesivo, quindi argilloso. Di seguito si riportano i dati relativi alle caratteristiche di un terreno limoso.

Caratteristiche del terreno	
γ_{sat}	25 kN/m ³
ϕ'	28°
c'	10 kN/m ²

Tabella 8. Dati relativi alle caratteristiche di un terreno ipotizzato coesivo

Per un angolo di attrito pari a 28° consideriamo i seguenti fattori (Vesic, 1975):

Fattori di capacità portante per $\phi' = 35^\circ$	
N_q	15,30
N_γ	17,80
N_c	26,4

Tabella 9. Fattori di capacità portante che dipendono dal valore dell'angolo di attrito

Come è stato fatto per il terreno non coesivo, è interessante andare a valutare quanto potrebbe essere la misura variabile della fondazione affinché si rispetti il valore minimo di $F_s=3$.

Fissando il fattore di sicurezza pari a 3, è stato possibile riscontrare che, come nel caso di terreno sabbioso, la misura variabile risulta negativa ($H=-3,73$ metri) anche se con un valore maggiore. Come nel caso precedente si può quindi affermare che il F_s è verificato anche per un valore di H nullo. Si è quindi analizzato questo caso e si è calcolato il fattore di sicurezza. Di seguito vengono riportati i valori di carico limite, di esercizio e F_s .

$$q_{lim} = 1310,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{es} = 310,12 \text{ kN/m}^2$$

$$F_s = 4,22$$

Conclusioni

Considerando i due casi in parallelo si nota che i risultati differiscono tra di loro; infatti, il terreno sabbioso della prima ipotesi, risulta essere più resistente rispetto a quello limoso argilloso. In conclusione a queste analisi viene proposto un grafico riassuntivo il quale si propone di analizzare come cambia il fattore di sicurezza al variare di H . Come ci si può aspettare, aumentando l'altezza della sottofondazione aumenta anche il F_s . Dal confronto tra i due casi si può dedurre che il terreno non coesivo avrà un F_s maggiore rispetto ad un terreno coesivo, per uno stesso valore di H . Di seguito si riporta il grafico relativo al confronto tra i risultati delle due ipotesi fatte:

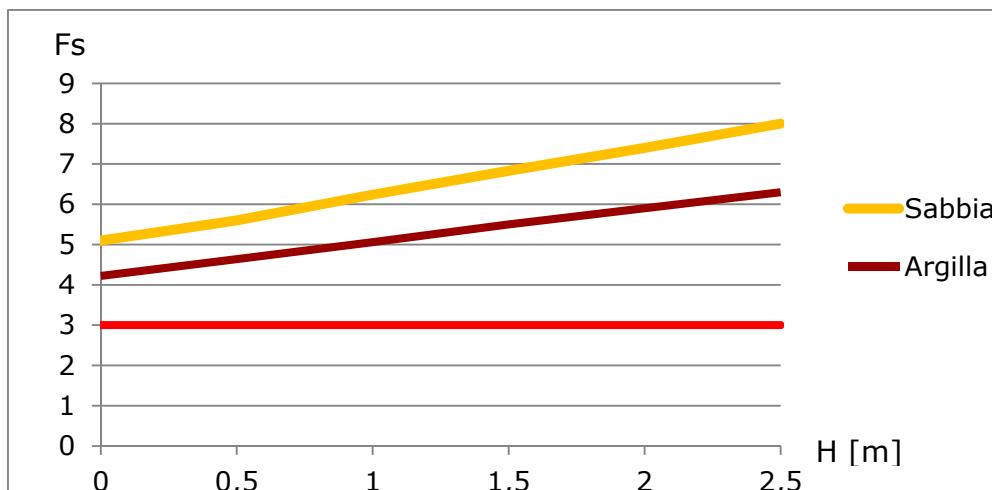


Figura 162. Grafico comparativo delle analisi fatte per un terreno sabbioso e limoso argilloso. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Dal diagramma proposto si evince che il fattore di sicurezza è sempre pienamente verificato in entrambi i casi, anche senza la presenza di una sottofondazione (valore di H).

In ultimo, è da sottolineare che quando si interviene su una struttura esistente, di cui non si conoscono determinate caratteristiche, è bene per prima cosa eseguire delle ispezioni, e se questo non è possibile effettuare comunque delle prove in sito per determinare con certezza le caratteristiche del terreno. Tali prove, giocano un ruolo significativo in questa fase, esse forniscono infatti dati precisi sulla tipologia di terreno e quindi su come esso interagisce con la struttura; dunque ipotizzare dei valori senza dati certi potrebbe provocare errori grossolani ed irreversibili.

E' da sottolineare l'importanza della parte preliminare alla progettazione, cioè quella di analisi e di conoscenza del terreno. Prima di approcciarsi ad una struttura esistente, è fondamentale che siano noti la maggior parte dei dati necessari alle verifiche e alla progettazione.

7.3 Analisi dei carichi

Per poter procedere al dimensionamento degli elementi strutturali è necessario definire i carichi, permanenti e variabili, agenti sulla struttura in esame. Per procedere si è fatto riferimento al DM 14/01/2008.

Il decreto fornisce le norme tecniche che definiscono le prestazioni richieste alle costruzioni in termini di resistenza meccanica, stabilità (anche in caso di incendio) e durabilità. Esse delineano i criteri generali di sicurezza, descrivono il procedimento di progetto delle strutture, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti, etc.

All'interno del DM 14/01/2008 le azioni vengono classificate in base alla variazione della loro intensità nel tempo. Si riportano la suddivisione delle azioni, coerentemente con lo sviluppo del progetto strutturale in oggetto:

- 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. A loro volta le azioni permanenti si dividono in: peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1) e peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
- variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo, quali i carichi legati alla destinazione d'uso dell'edificio, il carico da neve e la spinta orizzontale del vento.

Carichi permanenti

Il calcolo dei carichi è stato eseguito su tutti i solai dell'edificio: solaio su piano interrato, soppalco e copertura.

Dapprima si è individuata, attraverso le schede tecniche, la densità del materiale di ogni strato (kg/m^3); dopo di che la si moltiplica per lo spessore dello strato stesso, in modo da avere il peso del determinato elemento in kN/m^2 . Eseguendo questa operazione per tutti gli strati, si giunge a definire i carichi G_1 e G_2

La somma dei carichi permanenti, strutturali e non, sarà il peso dell'intera stratigrafia.

Si riportano di seguito le stratigrafie e le relative tabelle dei calcoli effettuati.

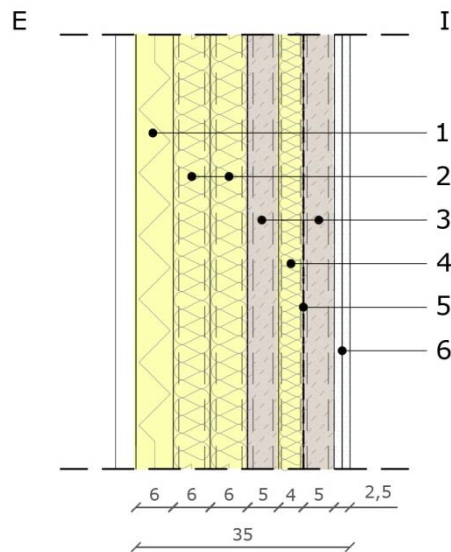
Per i pacchetti verticali si ha che il peso lineare G_2 al metro è così definito:

$G_2 = p \times h$, con h: altezza media di piano

Tale carico potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_2 , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_2 ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_2 delle partizioni nel modo seguente:

per elementi divisori con	$G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$;
per elementi divisori con	$1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$;
per elementi divisori con	$2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$;
per elementi divisori con	$3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$;
per elementi divisori con	$4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$:	$g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$;

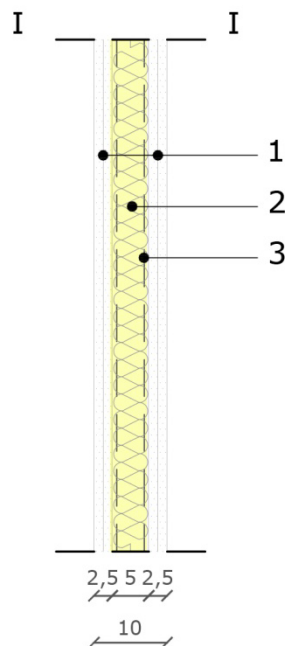
Chiusura verticale - C.V.1



strato	materiale	Spessore (m)
1	Pannello sandwich-tipo <i>Italpannelli</i>	0,06
2	Lana minerale tipo <i>Knauf</i> (x2)	0,12
3	Sostegno lana di vetro C (x2)	-
4	Sostegno lana di vetro U (x2)	-
5	Isolante tipo Fiber Thermflex	0,05
6	Lana minerale tipo <i>Knauf</i>	0,04
7	Sostegno lana minerale C (x2)	-
8	Sostegno lana minerale U (x2)	-
9	Isolante tipo Fiber Thermflex	0,05
10	Doppia lastra in cartongesso	0,025
Peso tot (kN/m²)		0,72
h piano (m)		2,9
G₂ (kN/m)		2,07
g₂ (kN/m²)		1,2

Tabella 10. Calcolo azioni permanenti su C.V.1

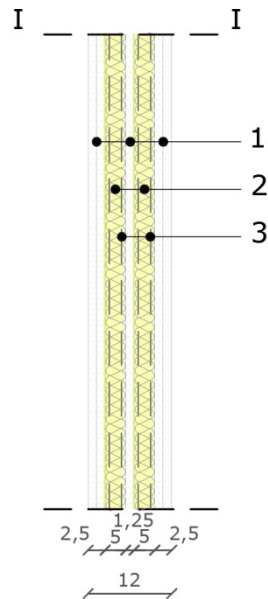
Partizione verticale - P.V.1



strato	materiale	spessore (m)
1	Cartongesso tipo <i>knauf</i> (x4)	0,05
2	Lana minerale tipo <i>knauf</i>	0,05
3	Sostegno lana di vetro C	-
Peso tot (kN /m²)		0,65
h piano (m)		2,9
G₂ (kN/m²)		1,87
g₂ (kN/m²)		0,8

Tabella 11. Calcolo azioni permanenti su P.V.1

Partizione verticale - P.V.2



strato	materiale	spessore (m)
1	Cartongesso tipo <i>knauf</i> (x5)	0,0625
2	Lana minerale tipo <i>knauf</i> (x2)	0,06
3	Sostegno lana minerale C (x2)	-
4	Sostegno lana minerale U (x2)	-
Peso tot (kN /m²)		0,81
h piano (m)		2,9
G₂ (kN/m)		2,35
g₂ (kN/m²)		1,2

Tabella 12. Calcolo azioni permanenti su P.V.2

Per i pacchetti orizzontali si ha che il peso G_2 è così definito:

$$G_2 = p + q_s + q_k$$

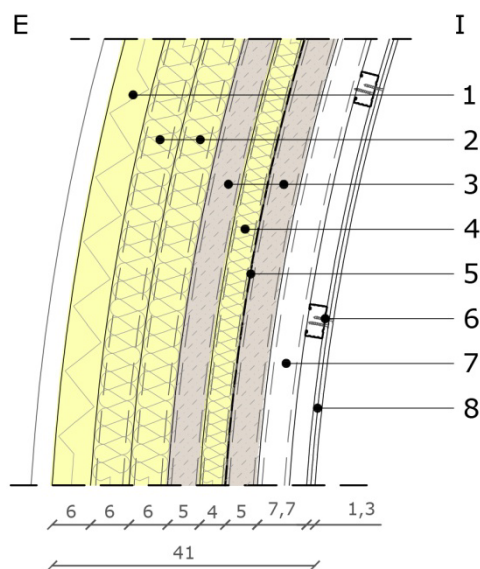
Dove

p : peso totale del pacchetto;

q_s : carico della neve (solo per copertura);

q_k : affollamento come definito in base alla Tab. 3.1.II del D.M.14/01/2008

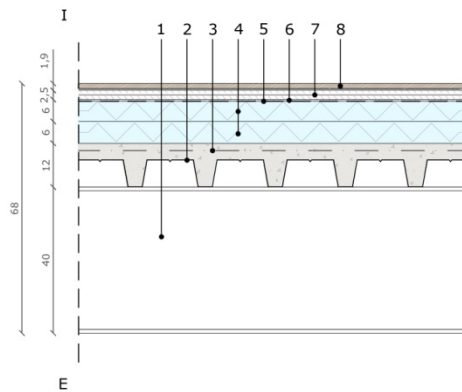
Copertura - C.O.1



strato	materiale	spessore (m)
0	Tubolari da 120x120 mm + 100x100mm	0,04
1	Pannello sandwich- tipo <i>Italpanelli</i>	0,06
2	Lana di minerale tipo <i>Knauf</i> (x2)	0,12
3	Isolante tipo <i>FiberThermflex (X2)</i>	0,10
4	<i>Lana minerale tipo knauf</i>	0,04
8	Cartongesso curvo tipo <i>knaufixy</i> (x2)	0,013
peso tot (kN/m²)		0,75

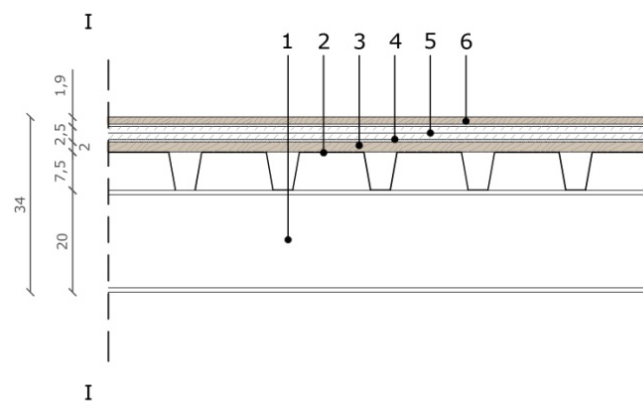
Tabella 13. Calcolo azioni permanenti su C.O.1

Solaio controterra - C.O.2



strato	materiale	spessore (m)
2	Lamiera grecata (h 75 mm)	-
3	Getto collaborante in cls	-
4	Polistirene espanso x2	0,12
5	Freno al vapore	-
6	Isolante anticalpestio	0,05
7	Pavilastra tipo <i>Knauf</i> x 2	0,025
8	Collante+parquet	0,019
peso tot (kN/m²)		0,3075

Tabella 14. Calcolo azioni permanenti su C.O.1



strato	Materiale	Spessore (m)
2	Lamiera grecata	-
3	Assito resistente in legno	0,03
4	Isolante anticalpestio	0,03
5	Pavilastre tipo <i>Knauf</i> (x2)	0,025
6	Collante+ parquet	0,019
peso tot (kN/m²)		0,57

Tabella 15. Calcolo azioni permanenti su P.O.1

Si procede alla definizione dei carichi strutturali G_1 . Essi coincidono con il peso degli elementi strutturali, ovvero il peso della lamiera e del getto collaborante per il solaio del piano terra e il peso della lamiera per il solaio del soppalco.

Vengono di seguito riportati i calcoli effettuati per il dimensionamento delle due lamiere.

Per la lamiera grecata del solaio contro terra si è fatto riferimento ai seguenti dati.

I Carichi da portare sono:

$$0,3075 \text{ kN/m}^2 (\text{carichi non strutturali}) + 2 \text{ kN/m}^2 (\text{carico dovuto ad affollamento}) + 0,8 \text{ kN/m}^2 (g_2 \text{ relativo a P.V.I.1}) + 1,2 \text{ kN/m}^2 (g_2 \text{ relativo a P.V.I.2}) = 4,31 \text{ kN/m}^2 = 431 \text{ kg/m}^2$$

L'interasse tra le travi secondarie: 3,30 m da progetto, usiamo pertanto a favore di sicurezza un interasse di 3,50 m.

Si considera uno schema della lamiera appoggio-appoggio e facendo riferimento alla tabella seguente si è scelta la lamiera grecata da 1,2 mm di spessore (che porta $5,28 \text{ kN/m}^2$) con un'altezza della soletta di 12 cm (7,5 cm + 4,5 cm di cappa in cls).

Sp. [cm]	Peso [Kg/m ²]	Luci [m]										
		1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
0,6	170	1953	1390	1024	774	594	462	361	282	220	170	128
0,7	171	2256	1612	1194	908	703	551	435	346	274	217	170
0,8	173	2551	1829	1360	1038	808	638	508	408	328	263	210
1,0	175	3121	2246	1679	1290	1011	805	649	527	430	352	288
1,2	176	3668	2648	1986	1531	1027	966	784	641	528	437	363
Freccia [cm]		0,19	0,26	0,34	0,44	0,54	0,65	0,77	0,91	1,05	1,21	1,38

Tabella 16. Caratteristiche della lamiera grecata collaborante del solaio (tipo SOLAC 75)

Per la lamiera grecata del solaio del soppalco si è fatto riferimento ai seguenti dati.

I carichi da portare sono:

$$0,57 \text{ kN/m}^2 (\text{carichi non strutturali}) + 2 \text{ kN/m}^2 (\text{carico dovuto ad affollamento}) = 2,57 \text{ kN/m}^2 = 257 \text{ kg/m}^2$$

L'interasse tra travi secondarie è: 3,30 m da progetto e usiamo come valore 3,50 m.

Si considera sempre uno schema della lamiera appoggio-appoggio e facendo riferimento alla tabella seguente si è scelta la lamiera grecata da 1,2 mm di spessore (che porta $2,88 \text{ kN/m}^2$) con un'altezza della soletta di 7,5 cm.

Sp.[cm]	Peso [Kg/m ²]	Luci [m]										
		1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75
0,6	7,98	1857	825	464	297	183	115	93	77	64	-	-
0,7	9,31	2312	1027	578	369	224	141	114	94	78	6	-
0,8	10,64	2802	1245	700	448	267	168	137	112	94	79	67
1,0	13,31	3885	1726	971	621	359	226	184	151	126	106	90
1,2	15,97	5052	2245	1263	790	457	288	234	192	160	135	115
1,5	19,97	6500	2889	2889	1040	612	385	313	258	215	181	154

Tabella 17. Caratteristiche della lamiera grecata del soppalco (tipo SOLAC 75)

Carichi variabili

Le azioni variabili comprendono carichi derivanti dalla destinazione d'uso dell'edificio e dipendenti quindi dalla categoria di appartenenza dello stesso, nel caso in oggetto: categoria C ("ambienti suscettibili di affollamento"). I carichi variabili comprendono: i carichi uniformemente distribuiti q_k [kN/m²], i carichi verticali concentrati Q_k [kN] e i carichi orizzontali lineari H_k [kN/m] (applicati alle pareti alla quota di 1,20 m dal rispettivo piano di calpestio). I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k e H_k vengono riportati nella seguente tabella.

AZIONI VARIABILI (Q)

Carichi verticali uniformemente distribuiti (CATEGORIA C1)	$q_k=3$ kN/m ²
Carichi verticali concentrati	$Q_k=2$ kN
Carichi orizzontali lineari	$H_k=1$ kN/m

Tabella 18. Azioni variabili(Q): si riportano in tabella le azioni variabili considerate in relazione alla categoria C di cui il centro polifunzionale fa parte.

Azione del vento

Per conoscere l'azione del vento è necessario il calcolo della pressione del vento p sulle pareti, che è stato effettuato mediante la seguente espressione:

$$p=q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

q_b = la pressione cinetica di riferimento;

c_e = il coefficiente di esposizione;

c_p = 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 = 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.

La pressione massima del vento risulta quindi essere pari a

Per la copertura: $P = 462,94 \text{ N/m}^2$

Per la parete sopravvento: $P = 462,94 \text{ N/m}^2$

Per la parete sottovento: $P = -231,47 \text{ N/m}^2$

È stata inoltre calcolata l'azione tangenziale del vento (riferita a pareti parallele alla direzione del vento). I risultati e le formule utilizzate sono riportati nella seguente tabella.

CARICHI DEL VENTO			
Coefficiente di forza	C_f	1	adm
Velocità di riferimento (con $A_s < A_0$) [Zona 1]	$V_b = V_{b,0}$	25	m/s
Pressione cinetica di riferimento $q_b = (V_b^2 \rho)/2$	q_b	391	N/m^2
Altitudine del sito di progetto MILANO	A_s	121	m.s.l.m.
Altitudine di riferimento	A_0	1000	m.s.l.m.
Altezza della costruzione	Z	6,6	m
Altezza di rif. della categoria	Z_{\min}	12	m
Coefficiente di topografia	C_t	1	adm
Parametro per la definizione di C_e	K_r	0,23	adm
Parametro per la definizione di C_e	Z_0	0,7	adm
Coefficiente di esposizione C_e	$C_e(z)$	1,48	adm
Inclinazione della falda	a	≥ 60	°
Coefficiente di forma per superfici sopravvento	C_p	0,8	adm
Coefficiente di forma per superfici sottovento	C_p	-0,4	adm
Coefficiente dinamico	C_d	1	adm
Coefficiente di attrito [per sup. molto scabre]	C_f	0,01	adm
Azione tangenziale del vento $p_f = q_b \cdot C_e \cdot C_f$	p_f	23,15	N/m^2

Tabella 19. Azioni del vento: dati, formule e risultati per il calcolo dell'azione del vento.

Azione del sisma

L'elemento di conoscenza principale per determinare le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite considerati, è la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Per determinare lo spettro di progetto per gli Stati Limite si è utilizzato il documento Excel "Spettri NTC (D.M. 14 Gennaio 2008)", facendo riferimento allo SLV, Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Nella tabella che segue si riportano i dati necessari al fine del calcolo dell'azione del sisma.

AZIONE DEL SISMA			
Periodo di riferimento	V_r	50	anni
Categoria sottosuolo	C		
Categoria topografica	T2		
Fattore di struttura	q	4	adm
Altezza edificio dal piano di fondazione	H	7,90	m
Coefficiente (per struttura in acciaio)	C	0,085	s/m
Periodo dell'edificio $T_1=C \cdot H^{3/4}$	T_1	0,4	s
Componente orizzontale	$S_d(T_1)$	0,049	s
Tempo spettro	T_d	1,79	s
Peso globale edificio	W	35,25	kN
Azione di taglio alla base (con $\lambda=1$)	F_H	0,18	kN
$F_H=(S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda) / g$			

Tabella 20. Azione del sisma.

Combinazione delle azioni

Le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile. Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili.

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Nella definizione delle combinazioni delle azioni che possono agire contemporaneamente, i termini G rappresentano i carichi permanenti, mentre i termini Q_{kj} le azioni variabili della combinazione.

Le azioni sono moltiplicate per coefficienti γ nella combinazione fondamentale allo SLU. Mentre allo SLE le azioni variabili Q_{kj} vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} . I valori dei coefficienti sono riportati nelle seguenti tabelle:

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE γ		
γ_{G1}	1	Favorevole
	1,3	NON favorevole
γ_{G2}	0	Favorevole
	1,5	NON favorevole
γ_{G2}	0	Favorevole
	1,5	NON favorevole

Tabella 21. Coefficienti γ , i coefficienti sono moltiplicatori dei carichi allo SLU.

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE Ψ		
Categoria C	Ψ_{0j}	0,7
	Ψ_{1j}	0,7
	Ψ_{1j}	0,6
Vento	Ψ_{0j}	0,6
	Ψ_{1j}	0,2
	Ψ_{2j}	0
Coperture	Ψ_{ij}	0

Tabella 22. Coefficienti ψ , i coefficienti di combinazione delle azioni variabili Q.

Come da normativa per il calcolo delle combinazioni delle azioni è stata presa in considerazione la "fondamentale" per il calcolo degli stati limite ultimi (SLU), mentre per gli stati limite di esercizio (SLE) si è utilizzata quella "frequente", in quanto la più restrittiva tra quelle adatte al calcolo in oggetto. Infatti, la combinazione "caratteristica rara", teoricamente la più restrittiva, è indicata per il calcolo mediante le tensioni ammissibili.

Per il solaio del piano terra sono state calcolate le seguenti combinazioni:

- SLU combinazione fondamentale:

$$\gamma (G_{1SFAV}) \cdot G_1 + \gamma (G_{2SFAV}) \cdot G_2 + \gamma (Q_{SFAV}) \cdot q$$

$$1,3 \cdot 1,78 + 1,5 \cdot (0,31+1,2+0,8) + 1,5 \cdot 2 = 8,78 \text{ kN/m}^2$$

- SLE combinazione frequente:

$$G_1 + G_2 + q \cdot \psi_1$$

$$1,78 + (0,31+1,2+0,8) + 2 \cdot 0,7 = 5,49 \text{ kN/m}^2$$

Per la soletta del soppalco sono state calcolate le seguenti combinazioni:

- SLU combinazione fondamentale:

$$\gamma (G_{1SFAV}) \cdot G_1 + \gamma (G_{2SFAV}) \cdot G_2 + \gamma (Q_{SFAV}) \cdot q$$

$$1,3 \cdot 0,15 + 1,5 \cdot 0,57 + 1,5 \cdot 2 = 4,04 \text{ kN/m}^2$$

- SLE combinazione frequente:

$$G_1 + G_2 + q \cdot \psi_1$$

$$0,15 + 0,57 + 2 \cdot 0,7 = 2,12 \text{ kN/m}^2$$

Per la soletta di copertura sono state prese in considerazione le due situazioni differenti, con e senza neve, essendo la struttura solo in corrispondenza del corridoio sottoposta ai carichi di neve:

- SLU combinazione fondamentale (senza carico di neve):

$$(G_{1SFAV}) \cdot G_1 + \gamma (G_{2SFAV}) \cdot G_2 + \gamma (Q_{SFAV}) \cdot Q^{54}$$

$$1,3 \cdot 0,11 + 1,5 \cdot 0,75 + 1,5 \cdot 0 = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

- SLE combinazione frequente (senza carico di neve):

$$G_1 + G_2 + Q \cdot \psi_1$$

$$0,11 + 0,75 + 0 \cdot 0,2 = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

- SLU combinazione fondamentale (con carico di neve):

$$(G_{1SFAV}) \cdot G_1 + \gamma (G_{2SFAV}) \cdot G_2 + \gamma (Q_{SFAV}) \cdot Q^{55}$$

$$1,3 \cdot 0,11 + 1,5 \cdot 0,75 + 1,5 \cdot 1,208 = 2,92 \text{ kN/m}^2$$

- SLE combinazione frequente (con carico di neve):

$$G_1 + G_2 + Q \cdot \psi_1$$

$$0,11 + 0,75 + 1,208 \cdot 0,2 = 1 \text{ kN/m}^2$$

Le soluzioni delle combinazioni di carico risultanti sono riportate nella tabella seguente:

COMBINAZIONI DI CARICO						
		piano terra	soppalco	Copertura (senza neve)	Copertura (con neve)	
SLU	Combinazione fondamentale	8,78	4,04	1,11	2,92	kN/m ²
SLE	Combinazione frequente	5,49	2,12	0,75	1	kN/m ²

Tabella 23. Soluzioni delle combinazioni di calcolo

⁵⁴ Il carico della neve è nullo essendo la struttura posta sotto l'arcata

⁵⁵ Il carico della neve in corrispondenza del corridoio non è nullo.

7.4 Dimensionamento e verifiche strutturali

Verranno di seguito illustrati i calcoli effettuati per dimensionare alcuni degli elementi strutturali presenti nel progetto. In particolare verranno dimensionati:

- travi secondarie: piano terra, soppalco, copertura;
- travi primarie: piano terra, soppalco, copertura;
- pilastro di bordo;
- controventi.

Travi secondarie

La trave secondaria viene considerata nelle procedure di calcolo come trave appoggiata agli estremi e sollecitata a pura flessione, per la quale vengono eseguite le verifiche di deformabilità allo SLE, di flessione e di taglio allo SLU come da normativa.

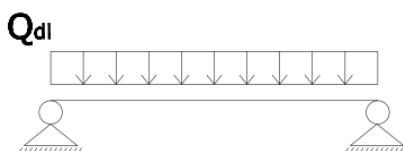


Figura 163. Schema statico della trave secondaria, appoggio-appoggio. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Trave secondaria – solaio controterra

Per il dimensionamento della trave secondaria del piano tipo si è scelto di analizzare la tipologia di trave più sollecitata.

Tale tipologia di trave è così definita come da progetto:

Lunghezza = 5 m

Area solaio portato = 3,3m x 5 m = 16,5 m²

Essendo un problema di dimensionamento, le prime due verifiche (deformabilità e flessione) verranno effettuate in assenza di un'indicazione precisa sul tipo di trave; ognuna di esse, infatti, fornirà la dimensione della trave necessaria a soddisfare i valori limite imposti dalla normativa. Se tali dimensioni dovessero essere discordanti si sceglierà la trave maggiore per operare a favore di sicurezza.

Nel calcolo della deformabilità viene preso in esame lo spostamento verticale ortogonalmente all'asse dell'elemento analizzato, ovvero la dimensione della freccia della trave secondaria sottoposta ai carichi distribuiti del solaio soprastante.

A tal fine viene inizialmente calcolato, a partire dal valore di F_d trovato nella combinazione dei carichi allo SLE, il carico Q_{d1} agente linearmente, definito come il carico F_d moltiplicato per la larghezza del solaio di competenza della trave.

$$F_d = 5,49 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{Dl} = 5,49 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 18,11 \text{ kN/m}$$

Come già accennato, il calcolo della deformabilità viene utilizzato per ottenere un primo dimensionamento della trave. La verifica allo stato limite di esercizio richiede infatti che la freccia massima della trave risulti inferiore $1/250 l$.

Così, data la formula del calcolo della freccia di progetto per una trave del tipo appoggio-appoggio sottoposta a carichi distribuiti:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_D \cdot l^4}{EI}$$

Dove:

Q_d è il carico distribuito;

l è la luce tra gli appoggi;

E è il modulo elastico dell'acciaio: 210000 MPa;

I è l'inerzia relativa al profilo.

Si ricava il valore del momento di inerzia I sostituendo al valore di progetto δ_D il valore della freccia massima ammissibile δ_{max} definita dalla normativa

Perciò:

$$\delta_{max} = \frac{1}{250} \cdot l = \frac{5 \text{ m}}{250} = 2 \text{ cm}$$

Sostituendo:

$$2 \text{ cm} = \frac{5}{384} \cdot \frac{18,11 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (5)^4 \text{ m}^4}{210000 \text{ MPa} \cdot I}$$

Si ricava perciò il valore del momento di inerzia $I_x = 3508,79 \text{ cm}^4$ e lo si confronta con i valori del momento d'inerzia nel prontuario a disposizione.

Si può notare che la trave IPE con il momento di inerzia che più si avvicina a tale valore è: IPE 240 con $I_x = 3892 \text{ cm}^4$

Prima di procedere alla valutazione della resistenza di calcolo a flessione retta della sezione della trave, è necessario calcolare il carico Q_{Dl} agente linearmente partendo dal carico F_d ottenuto dalla combinazione dei carichi allo SLU.

$$F_d = 8,78/\text{m}^2$$

$$Q_{Dl} = 8,78 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 28,96 \text{ kN/m}^2$$

Data la formula della resistenza di calcolo a flessione retta della sezione presente nella normativa:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classi 1 e 2}$$

dove:

W_{pl} = modulo di resistenza plastico;

f_{yk} = resistenza caratteristica di snervamento in base alla qualità dell'acciaio;

γ_{M0} = coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità per le sezioni di classe 1-2-3-4.

Viene scelto un acciaio S235 secondo la norma UNI EN 10025-2 di classe 1 per il quale:

$$f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,05$$

Da tale formula viene ricavato il modulo di resistenza plastico W_{pl} uguagliando il valore di $M_{pl,Rd}$ al momento flettente M_{Ed} come da progetto calcolato secondo le combinazioni dei carichi allo SLU in base alla seguente formula:

$$M_{Ed} = \frac{Q_{Dl} \cdot l^2}{8}$$

Perciò:

$$M_{Ed} = \frac{28,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (5)^2 \text{ m}^2}{8} = 90,50 \text{ kNm}$$

Sostituendo:

$$90,50 \text{ kNm} = \frac{W_{pl} \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,05}$$

Si ricava perciò il valore del modulo di resistenza plastico $W_{pl} = 404,34 \text{ cm}^3$ e lo si confronta con i valori del modulo di resistenza nel prontuario a disposizione.

Si può notare che la trave IPE con il modulo di resistenza che più si avvicina a tale valore è: IPE 270 con $W_x = 428,9 \text{ cm}^3$

Ricapitolando:

Calcolo a deformabilità: IPE 240

Calcolo della flessione monoassiale: IPE 270

Si sceglie una IPE 270 che verifica entrambe le situazioni, con:

Inerzia, $I_x = 5790 \text{ cm}^4$

Modulo di resistenza, $W_x = 428,9 \text{ cm}^3$

Peso = 0,361 kN/m

Ricalcolo combinazioni di carico

Una volta trovata la trave IPE di progetto è necessario ricalcolare le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE correggendole aggiungendo ai pesi strutturali G_1 anche il peso proprio della trave stessa. E' inoltre possibile già calcolare il carico agente linearmente Q_{DI} nonché il carico totale Q_D definito come il carico Q_{DI} moltiplicato per la lunghezza del solaio di competenza della trave come segue:

SLU

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$F_d = 1,3 \cdot (1,78 \text{ kN/m}^2 + 0,361 \text{ kN/m} : 5 \text{ m}) + 1,5 \cdot (0,31 + 1,2 + 0,8) \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 8,87 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{DI} = 8,87 \text{ kN/m} \cdot 3,30 \text{ m} = 29,27 \text{ kN/m}$$

$$Q_D = 31,04 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 146,34 \text{ kN}$$

SLE

$$F_d = G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

$$F_d = 1,78 \text{ kN/m}^2 + 0,361 \text{ kN/m} : 5 \text{ m} + (0,31 + 1,2 + 0,8) \text{ kN/m}^2 + 2 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 5,56 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{DI} = 5,56 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 18,35 \text{ kN/m}$$

$$Q_D = 23,28 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 91,74 \text{ kN}$$

Verifica a deformabilità

La verifica a deformabilità richiede che la freccia di progetto sia inferiore alla freccia massima ammissibile come definita dalla tabella 4.2.X della normativa e precedentemente calcolata:

$$\delta_D \leq \delta_{\max}$$

Una volta scelta la trave di progetto è possibile calcolarne la deformabilità della stessa sottoposta non solo al carico del solaio portato ma anche al peso proprio secondo la combinazione dei carichi allo SLE:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_D \cdot l^4}{EI}$$

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{18,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (5)^4 \text{m}^4}{210000 \text{ MPa} \cdot 5790 \text{ cm}^4} = 1,2 \text{ cm} < 2 \text{ cm} = \delta_{\text{max}}$$

Flessione monoassiale (Retta)

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Il momento flettente ottenuto tenendo conto della combinazione di carico allo SLU viene calcolato come in precedenza e vale 90,50 kNm.

Mentre per calcolare la resistenza di progetto a flessione $M_{c,Rd}$, si fa riferimento alla formula precedentemente detta, e vale 95,99 kNm.

Si esegue la verifica:

$$\frac{90,50 \text{ kNm}}{95,99 \text{ kNm}} = 0,94 < 1$$

Dal confronto la trave secondaria IPE 270 risulta verificata anche a flessione rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

L'azione tagliante V_{Ed} allo SLU è definita come:

$$V_{Ed} = \frac{Q_D \cdot l}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{28,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3,3 \text{ m}}{2} = 72,40 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ è invece così definita:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot m_0}$$

Dove:

A_v = area resistente a taglio = $A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 2214,32 \text{ mm}^2$

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ [valore proprio dell'acciaio S235]

$m_0 = 1,05$ [valore proprio dell'acciaio S235]

Quindi:

$$V_{c,Rd} = \frac{2214,32 \text{ mm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 286,13 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica:

$$\frac{72,40}{286,13} = 0,25 < 1$$

Dalla verifica perciò la trave secondaria IPE 270 risulta verificata a taglio rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Trave secondaria – soppalco

Analogamente a quanto fatto per la trave secondaria del soppalco al piano terra, si procede al dimensionamento della trave secondaria del soppalco. La trave è anche essa una trave semplicemente appoggiata. Vengono di seguito riportate le tabelle di dimensionamento e le verifiche eseguite.

Tale tipologia di trave è così definita come da progetto:

Lunghezza = 5 m

Area solaio portato = $3,3\text{m} \cdot 5 \text{ m} = 16,5 \text{ m}^2$

La trave secondaria viene considerata in doppio appoggio sollecitata a pura flessione; vengono eseguite le verifiche di deformabilità allo SLE, di flessione e di taglio allo SLU.

Come nel caso precedente, essendo un problema di dimensionamento, le prime due verifiche (deformabilità e flessione) verranno effettuate in assenza di un'indicazione precisa sul tipo di trave; ognuna di esse, infatti, fornirà la dimensione della trave necessaria a soddisfare i valori limite imposti dalla normativa. Se tali dimensioni dovessero essere discordanti si sceglierà la trave maggiore per operare a favore di sicurezza.

Per calcolare la deformabilità si prende in esame la freccia della trave secondaria sottoposta ai carichi distribuiti del solaio soprastante, si calcola quindi, a partire dal valore di F_d trovato nella combinazione dei carichi allo SLE, il carico Q_{Dl} agente linearmente, definito come il carico F_d moltiplicato per la larghezza del solaio di competenza della trave.

$$F_d = 2,12 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{Dl} = 2,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 6,98 \text{ kN/m}$$

Data la formula del calcolo della freccia di progetto per una trave del tipo appoggio-appoggio sottoposta a carichi distribuiti:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_D \cdot l^4}{EI}$$

Dove:

Q_d è il carico distribuito;

l è la luce tra gli appoggi;

E è il modulo elastico dell'acciaio: 210000 MPa;

I è l'inerzia relativa al profilo.

Si ricava il valore del momento di inerzia I sostituendo al valore di progetto δ_D il valore della freccia massima ammissibile δ_{max} definita dalla normativa come $1/250 \cdot l$.

Perciò:

$$\delta_{max} = \frac{1}{250} \cdot l = \frac{5 \text{ m}}{250} = 2 \text{ cm}$$

Sostituendo:

$$2 \text{ cm} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (5)^4 \text{ m}^4}{210000 \text{ MPa} \cdot I}$$

Si ricava perciò il valore del momento di inerzia $I_x = 1353,26 \text{ cm}^4$ e lo si confronta con i valori del momento d'inerzia nel prontuario a disposizione.

Si può notare che la trave IPE con il momento di inerzia che più si avvicina a tale valore è: IPE 200 con $I_x = 1943 \text{ cm}^4$

Prima di procedere alla valutazione della resistenza di calcolo a flessione retta della sezione della trave, è necessario calcolare il carico Q_{Dl} agente linearmente partendo dal carico F_d ottenuto dalla combinazione dei carichi allo SLU.

$$F_d = 4,05 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{DI} = 4,05 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 13,35 \text{ kN/m}^2$$

Data la formula della resistenza di calcolo a flessione retta della sezione presente nella normativa con un acciaio S235 di classe 1 ($f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{M0} = 1,05$):

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Da tale formula viene ricavato il modulo di resistenza plastico W_{pl} uguagliando il valore di $M_{pl,Rd}$ al momento flettente M_{Ed} come da progetto calcolato secondo le combinazioni dei carichi allo SLU in base alla seguente formula:

$$M_{Ed} = \frac{Q_{DI} \cdot l^2}{8}$$

Perciò:

$$M_{Ed} = \frac{13,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (5)^2 \text{ m}^2}{8} = 41,71 \text{ kNm}$$

Sostituendo:

$$41,71 \text{ kNm} = \frac{W_{pl} \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,05}$$

Si ricava perciò il valore del modulo di resistenza plastico $W_{pl} = 186,36 \text{ cm}^3$ e lo si confronta con i valori del modulo di resistenza nel prontuario a disposizione.

Si può notare che la trave IPE con il modulo di resistenza che più si avvicina a tale valore è: IPE 200 con $W_x = 194,3 \text{ cm}^3$

Ricapitolando:

Calcolo a deformabilità: IPE 200

Calcolo della flessione monoassiale: IPE 200

La trave IPE 200 verifica entrambe le situazioni e ha:

Inerzia, $I_x = 1943 \text{ cm}^4$

Modulo di resistenza, $W_x = 194,3 \text{ cm}^3$

Peso = 0,224 kN/m

Ricalcolo combinazioni di carico

Una volta trovata la trave IPE di progetto è necessario ricalcolare le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE correggendole aggiungendo ai pesi strutturali G_1 anche il peso proprio della trave stessa. E' inoltre possibile già calcolare il carico agente

linearmente Q_{Dl} nonché il carico totale Q_D definito come il carico Q_{Dl} moltiplicato per la lunghezza del solaio di competenza della trave come segue:

SLU

$$F_d = 4,12 \text{ kN/m}$$

$$Q_{Dl} = 4,12 \text{ kN/m} \cdot 3,30 \text{ m} = 13,35 \text{ kN/m}$$

$$Q_D = 13,35 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 66,74 \text{ kN}$$

SLE

$$F_d = 2,12 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{Dl} = 2,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,30 \text{ m} = 6,98 \text{ kN/m}$$

$$Q_D = 6,98 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 34,92 \text{ kN}$$

Verifica a deformabilità

Si eseguono ora le verifiche. La verifica a deformabilità richiede che la freccia di progetto sia inferiore alla freccia massima ammissibile come precedentemente calcolata:

$$\delta_D \leq \delta_{\max}$$

Una volta scelta la trave di progetto è possibile calcolarne la deformabilità della stessa sottoposta non solo al carico del solaio portato ma anche al peso proprio secondo la combinazione dei carichi allo SLE:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{DL} \cdot l^4}{EI}$$

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (7)^4 \text{m}^4}{210000 \text{ MPa} \cdot 1943 \text{cm}^4} = 1,39 \text{cm} < 2 \text{cm} = \delta_{\max}$$

Verifica a flessione

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Il momento flettente ottenuto tenendo conto della combinazione di carico allo SLU viene calcolato come in precedenza e vale 41,71 kNm.

Mentre la resistenza di progetto a flessione $M_{c,Rd}$, calcolata con le formule precedentemente descritte, vale 43,49 kNm.

Si esegue la verifica:

$$\frac{41,71 \text{ kNm}}{43,79 \text{ kNm}} = 0,96 < 1$$

Dal confronto la trave secondaria IPE 200 risulta verificata anche a flessione rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Verifica a taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

L'azione tagliante V_{Ed} allo SLU vale 33,37 kN, mentre la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ ha un valore di 180,85 kN.

Si esegue la verifica quindi la verifica:

$$\frac{33,37}{180,85} = 0,18 < 1$$

Dalla verifica perciò la trave secondaria IPE 200 risulta verificata a taglio rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Trave secondaria - Copertura

Si distinguono però due casi, quello delle travi di copertura del corridoio, per le quali si è considerato il carico della neve, e quelle curve, per le quali non si è considerato questo carico, essendo la struttura in questo caso posizionata sotto le arcate.

Le travi secondarie del corridoio sono tutte travi su due appoggi, con uno schema statico identico a quello delle travi secondarie del solaio a piano terra. Le travi secondarie di copertura curve, hanno invece uno schema statico di arco a tre cerniere.

Di seguito si riportano le tabelle del dimensionamento e le verifiche delle travi della copertura del corridoio. Esse riportano i risultati dei calcoli ottenuti con le formule già utilizzate per il dimensionamento e le verifiche delle travi secondarie al piano terra e del soppalco

Si è iniziato con il dimensionamento allo SLE. L'inerzia minima da ricercare era di 220,25 cm⁴, si è così optato per un profilo IPE 120, che ha un'inerzia di 317,8 cm⁴.

Verifica deformabilità (SLE) della trave secondaria di copertura $\delta_{max}=1/200$

Modulo elastico	E	210000	MPa
Luce tra gli appoggi	l	3	m
Interasse	i	6,6	m
Area d'influenza	A _i	19,8	m ²
Carichi totali (SLE)	F _d	0,99	kN/m ²
Carico distribuito su trave	Q _{dl}	6,58	kN
Freccia max ammissibile	δ_{max}	0,015	m
Inerzia min da cercare	J _y	220,25	cm ⁴
Profilo scelto	IPE	120	-
Inerzia del profilo	J _x	317,8	cm ⁴

Tabella 24. Calcoli allo SLE per le travi secondarie di copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 160.

Si effettua la verifica allo SLU di flessione monoassiale retta, dalla quale sceglie un profilo IPE 160 che rispetti il minimo valore di modulo resistente plastico $w_x.96,96$ cm³.

flessione monoassiale retta (SLU) della trave secondaria di copertura $\delta_{max}=1/200$

Tensione di snervamento	f _{yk}	235	N/mm ²
Coef. Sicurezza (acciaio classe1)	γ _{Mo}	1,05	-
Profilo da SLE	IPE	120	-
Modulo di resistenza elastico	W _{el}	96,96	cm ³
Luce trave	l	3	m
Interasse	i	6,6	m
Area d'influenza	A _i	19,8	m ²
Carichi totali (SLU)	F _d	2,92	kN/m ²
Carico distribuito su trave	Q _{dl}	19,29	kN
Momento flettente di calcolo	M _{ed}	21,70	kNm
Modulo di resistenza plastico	W _x	96,96	cm ³
Profilo IPE scelto	IPE	160	-

Tabella 25. Calcoli allo SLU per le travi secondarie di copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 160

Una volta trovata la trave IPE di progetto è necessario ricalcolare le combinazioni di carico allo SLU e allo SLE correggendole aggiungendo ai pesi strutturali G₁ anche il peso proprio della trave stessa. E' inoltre possibile già calcolare il carico agente linearmente Q_{DI} nonché il carico totale Q_D definito come il carico Q_{DI} moltiplicato per la lunghezza del solaio di competenza della trave come segue:

RICALCOLO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO

SLU	Fd	=	2,99	kN/m ²
	Qdl	=	19,74	kN/m
	Qd	=	59,225	kN
SLE	Fd	=	2,02	kN/m ²
	Qdl	=	13,30	kN/m
	Qd	=	39,91	kN

Tabella 26. Ricalcolo delle combinazioni di carico allo SLU e allo SLE

Si eseguono quindi le verifiche di deformabilità (allo SLE), di flessione monoassiale retta e di taglio (entrambe allo SLU).

Verifica a deformabilità (SLE)

Freccia di calcolo	δ_d	7,68	mm
Freccia max ammissibile	δ_{max}	15	mm
Verifica	$\delta_d < \delta_{max}$	7,68 < 15	verificato

Tabella 27. Verifica a deformabilità

Verifica a flessione monoassiale retta (SLU)

Momento flettente di calcolo	M_{ed}	21,70	kNm
Momento flettente resistente	M_{rd}	24,33	kNm
Verifica	$M_{ed}/M_{rd} < 1$	0,89	verificato

Tabella 28. Verifica flessione monoassiale retta.

Verifica a taglio (SLU)

Altezza trave	h	160	mm
Spessore anima	t_w	82	mm
Area resistente a taglio	A_v	965,6	mm ²
Taglio di calcolo	V_{ed}	28,93	kN
Taglio resistente	V_{rd}	124,77	kN
Verifica	$V_{ed}/V_{rd} < 1$	0,23	verificato

Tabella 29. Verifica a taglio.

Per le travi di copertura curve, come già detto, si è seguito lo schema statico di arco a tre cerniere, come mostrato nella seguente figura:

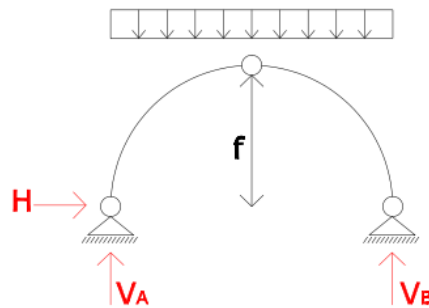


Figura 164. Schema statico della trave secondaria di copertura: arco a tre cerniere. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Il carico distribuito Q_d , allo SLU vale 48,38kN, la luce l è di 6,60 m e la freccia f di 3,30m.

Le reazioni trovate sono le seguenti:

$$H = (Q_d \cdot l) / (8 \cdot f) = 12,09 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = V_A = V_B = (Q_d \cdot l) / 2 = 24,19 \text{ kN}$$

Trovate le reazioni di taglio si è potuto calcolare il momento agente, che vale:

$$M_{ed} = (V_{ed} l/4) - (H l/4) - (Q_d \cdot l/32) = 9,99 \text{ kNm}$$

Le verifiche sono state effettuate come nei casi precedente e si riportano di seguito in tabella:

Verifica a deformabilità (SLE)

Freccia di calcolo	δ_d	20	mm
Freccia max ammissibile	δ_{max}	33	mm
Verifica	$\delta_d < \delta_{max}$	32 < 33	verificato

Tabella 30. Verifica a deformabilità.

Verifica a flessione monoassiale retta (SLU)

Momento flettente di calcolo	M_{ed}	9,99	kNm
Momento flettente resistente	M_{rd}	48,25	kNm
Verifica	$M_{ed}/M_{rd} < 1$	0,20	verificato

Tabella 31. Verifica a flessione monoassiale retta.

Verifica a taglio (SLU)

Altezza trave	h	140	mm
Spessore anima	t_w	12	mm
Area resistente a taglio	A_v	1308	mm ²
Taglio di calcolo	V_{ed}	24,19	kN
Taglio resistente	V_{rd}	169,02	kN
Verifica	$V_{ed}/V_{rd} < 1$	0,14	verificato

Tabella 32. Verifica a taglio (SLU)

Travi primarie

Per dimensionare la trave principale si utilizza lo stesso schema statico delle travi secondarie, ovvero quello di una trave appoggio-appoggio, in questo caso sollecitata da carichi concentrati nei punti di applicazione della struttura secondaria e da carichi distribuiti corrispondenti al peso proprio della trave stessa.



Figura 165. Schema statico della trave principale. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Le travi secondarie trasferiscono così il loro peso e quello del solaio in modo puntiforme sulle travi principali. Per come lo schema strutturale è stato definito, la trave principale in esame sopporta il carico puntuale di una trave secondaria applicato esattamente nella mezzera della stessa. Come per le travi secondarie vengono eseguite le verifiche di deformabilità allo SLE, di flessione e di taglio allo

SLU come da normativa. Il dimensionamento viene eseguito attraverso lo stesso procedimento dei capitoli precedenti. Nei calcoli effettuati il tipo di acciaio utilizzato è della stessa qualità dell'acciaio utilizzato per il dimensionamento delle travi secondarie.

Come precedentemente accennato il caso delle travi principali differisce da quello delle secondarie in quanto il carico a cui la trave è sollecitata è di tipo puntuale e non distribuito.

Trave principale – Solaio controterra

Si procede perciò al calcolo della reazione vincolare V della trave secondaria, sottoposte sia al carico del solaio di competenza sia al peso proprio secondo la combinazione dei carichi allo SLE ottenendo il carico puntuale totale p :

$$V_A = Q_D = p = 91,73 \text{ kN}$$

Come per le travi secondarie, la verifica allo stato limite di esercizio richiede che la freccia massima della trave risulti inferiore al valore di δ_{\max} .

Data la formula del calcolo della freccia di progetto per una trave del tipo appoggio-appoggio sottoposta a carichi puntuali:

$$\delta_D = \frac{p \cdot l^3}{48 EI}$$

dove p è il carico puntuale applicato viene ricavato il valore del momento di inerzia I uguagliando il valore di progetto δ_D al valore della freccia massima ammissibile δ_{\max} definita già precedentemente dalla normativa in funzione della lunghezza della trave l .

$$\delta_{\max} = \frac{1}{250} \cdot l$$

Perciò:

$$\delta_{\max} = \frac{1}{250} \cdot l = \frac{6,6 \text{ m}}{250} = 0,026 \text{ m}$$

Sostituendo:

$$0,028 \text{ m} = \frac{91,73 \text{ kN} \cdot (6,6)^3 \text{ m}^3}{48 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot I}$$

Si ricava perciò il valore del momento di inerzia $I_x = 9910,66 \text{ cm}^4$ e lo si confronta con i valori del momento d'inerzia nel prontuario a disposizione. Si può notare che la trave IPE con il momento di inerzia che più si avvicina a tale valore è: IPE 330 con $I_x = 11170 \text{ cm}^4$

Prima di procedere alla valutazione della resistenza di calcolo a flessione retta della sezione della trave, è necessario calcolare le reazioni vincolari V delle due travi secondarie, sottoposte sia al carico del solaio di competenza sia al peso proprio secondo la combinazione dei carichi allo SLU ottenendo poi il carico puntuale totale p .

$$V = Q_D = p = 146,34 \text{ kN}$$

Viene ricavato il modulo di resistenza plastico W_{pl} uguagliando il valore di $M_{pl,Rd}$ al momento flettente M_{Ed} per una trave sollecitata a carichi puntuali calcolato secondo le combinazioni dei carichi allo SLU, in base alla seguente formula:

$$M_{Ed} = \frac{p \cdot l}{4}$$

Si ricava perciò il valore del modulo di resistenza plastico $W_{pl} = 1078,87 \text{ cm}^3$, la trave IPE con il modulo di resistenza che più si avvicina a tale valore è: IPE 400 con $W_x = 1156 \text{ cm}^3$

Ricapitolando:

Calcolo a deformabilità: IPE 330

Calcolo della flessione monoassiale: IPE 400

Per il solaio tipo, perciò, si sceglie una IPE 400 che verifica entrambe le situazioni, con:

- Inerzia, $I_x = 23130 \text{ cm}^4$
- Modulo di resistenza, $W_x = 1156 \text{ cm}^3$
- Peso = $0,663 \text{ kN/m}$

Sulla trave primaria grava un carico concentrato in corrispondenza della mezzeria e il suo peso proprio linearmente distribuito.

Per risolvere il problema statico si applicherà il principio della sovrapposizione degli effetti.

Verifica a deformabilità

La verifica a deformabilità richiede che la freccia di progetto sia inferiore alla freccia massima ammissibile:

$$\delta_D \leq \delta_{max}$$

Una volta scelta la trave di progetto è possibile perciò calcolarne la deformabilità della stessa sottoposta non solo al carico del solaio portato ma anche al peso proprio secondo la combinazione dei carichi allo SLE.

Il contributo dovuto ai carichi concentrati (peso delle travi secondarie) per il valore di δ_D è dato dalla seguente espressione:

$$\delta_D = \frac{p \cdot l^3}{48 EI}$$

$$\delta_D = \frac{91,74 \text{ kN} \cdot (6,60)^3 \text{ m}^3}{48 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 23130 \text{ cm}^4} = 1,13 \text{ cm}$$

Il contributo dato dal carico distribuito (peso proprio della trave principale) si calcola invece con la teoria della trave elastica:

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_D \cdot l^4}{EI}$$

$$\delta_D = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,663 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (6,60)^4 \text{ m}^4}{210000 \text{ MPa} \cdot 23130 \text{ cm}^4} = 0,33 \text{ cm}$$

La freccia totale si ottiene sommando i due contributi precedentemente calcolati:

$$\delta_{D_{\text{tot}}} = (1,13 + 0,33) \text{ cm} = 1,46 \text{ cm} < 2,64 \text{ cm} = \delta_{\text{max}}$$

Dal confronto la trave secondaria IPE 400 risulta verificata a deformabilità rispetto ai carichi relativi allo SLE.

Flessione monoassiale (retta)

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Anche in questo caso si utilizza il principio della sovrapposizione degli effetti per calcolare il momento flettente M_{Ed} ottenuto tenendo conto della combinazione di carico allo SLU.

Il contributo dato dai carichi concentrati viene calcolato con la formula:

$$M_{Ed} = \frac{p \cdot l}{4}$$

$$M_{Ed} = \frac{146,34 \text{ kN} \cdot 6,60 \text{ m}}{4} = 241,46 \text{ kNm}$$

Il contributo dato dai carichi distribuiti viene calcolato come in precedenza con la formula:

$$M_{Ed} = \frac{Q_{Dl} \cdot l^2}{8}$$

$$M_{Ed} = \frac{0,663 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (6,60)^2 \text{m}^2}{8} = 3,61 \text{ kNm}$$

Il momento totale si ottiene sommando i due contributi precedentemente calcolati:

$$M_{Ed \text{ tot}} = 241,46 \text{ kNm} + 3,61 \text{ kNm} = 245,07 \text{ kNm}$$

Mentre per calcolare la resistenza di progetto a flessione $M_{c,Rd}$, si fa riferimento alla seguente formula:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{g_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classi 1 e 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{1156 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,05} = 258,72 \text{ kNm}$$

Si esegue la verifica:

$$\frac{258,72 \text{ kNm}}{245,07 \text{ kNm}} = 0,95 < 1$$

Dal confronto la trave secondaria IPE 400 risulta verificata anche a flessione rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

L'azione tagliante V_{Ed} allo SLU per il contributo dato dai carichi concentrati è definita come:

$$V_{Ed} = \frac{p}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{146,34 \text{ kN}}{2} = 73,17 \text{ kN}$$

L'azione tagliante V_{Ed} allo SLU per il contributo dato dai carichi distribuiti è definita come:

$$V_{Ed} = \frac{Q_D \cdot l}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{0,663 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 6,60 \text{ m}}{2} = 2,19 \text{ kN}$$

Il taglio totale si ottiene sommando i due contributi precedentemente calcolati:

$$V_{Ed \text{ tot}} = 73,17 \text{ kN} + 2,19 \text{ kN} = 75,36 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ è invece così definita:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_V \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot g_{M0}}$$

Dove:

$$A_V = \text{area resistente a taglio} = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 4269,10 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{valore proprio dell'acciaio S235}]$$

$$g_{M0} = 1,05 \quad [\text{valore proprio dell'acciaio S235}]$$

Quindi:

$$V_{c,Rd} = \frac{4269,10 \text{ mm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 551,64 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica:

$$\frac{75,36 \text{ kN}}{551,64 \text{ kN}} = 0,14 < 1$$

Dalla verifica perciò la trave secondaria IPE 400 risulta verificata a taglio rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Trave principale - Soppalco

Per il calcolo della trave principale del soppalco si è seguito lo stesso procedimento appena illustrato per la trave principale del piano terra. Si riportano di seguito le tabelle riassuntive con le verifiche effettuate.

Si è iniziato con il dimensionamento allo SLE. L'inerzia minima da ricercare era di $3372,67 \text{ cm}^4$, si è così optato per un profilo IPE 240, che ha un'inerzia di 3892 cm^4 .

Verifica deformabilità (SLE) della trave secondaria di copertura $\delta_{\max}=1/200$

Modulo elastico	E	210000	MPa
Luce tra gli appoggi	l	6,60	m
Interasse	i	5	m
Area d'influenza	A_i	33	m^2
Carichi (SLE)	Q_d	34,92	kN
Freccia max ammissibile	δ_{\max}	0,026	m
Inerzia min da cercare	J_x	3372,67	cm^4
Profilo scelto	IPE	240	-
Inerzia del profilo	J_x	3892	cm^4

Tabella 33. Calcoli allo SLE per le travi primarie del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.

Si effettua la verifica allo SLU di flessione monoassiale retta, dalla quale si conferma la scelta del profilo IPE 240 che rispetti il minimo valore di modulo resistente plastico.

Flessione monoassiale retta (SLU) della trave secondaria di copertura $\delta_{\max}=1/200$

Tensione di snervamento	f_{yk}	235	N/mm^2
Coef. Sicurezza (acciaio classe1)	γ_{Mo}	1,05	-
Profilo da SLE	IPE	240	-
Modulo di resistenza elastico	W_{el}	324,3	cm^3
Carichi (SLU)	Q_d	40,84	kN
Momento flettente di calcolo	M_{ed}	67,39	kNm
Modulo di resistenza plastico	W_x	301,10	cm^3
Profilo IPE scelto	IPE	240	-

Tabella 34. Calcoli allo SLU per le travi primarie del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.

Si eseguono quindi le verifiche di deformabilità (allo SLE), di flessione monoassiale retta e di taglio (entrambe allo SLU) per il profilo scelto IPE 240 con:

- Inerzia, $I_x = 3892 \text{ cm}^4$
- Modulo di resistenza, $W_x = 324,3 \text{ cm}^3$
- Peso = 0,307 kN/m

Verifica a deformabilità (SLE)

Freccia dovuta ai carichi concentrati	$\delta_{d(\text{conc})}$	2,56	cm
Freccia dovuta ai carichi distribuiti	$\delta_{d(\text{dis})}$	0,09	cm
Freccia totale di progetto	δ_d	2,65	cm
Freccia max ammissibile	δ_{\max}	2,64	cm
Verifica	$\delta_d < \delta_{\max}$	$2,65 > 2,64$	Non verificato

Tabella 35. Verifica a deformabilità per la trave IPE 240.

Dalla verifica a deformabilità il profilo IPE 240 non risulta verificato, si sceglie quindi un profilo IPE 270, con le seguenti proprietà:

- Inerzia, $I_x = 5790 \text{ cm}^4$
- Modulo di resistenza, $W_x = 324,3 \text{ cm}^3$
- Peso = 0,307 kN/m

Verifica a deformabilità (SLE)

Freccia dovuta ai carichi concentrati	$\delta_{d(\text{conc})}$	1,72	cm
Freccia dovuta ai carichi distribuiti	$\delta_{d(\text{dis})}$	0,07	cm
Freccia totale di progetto	δ_d	1,79	cm
Freccia max ammissibile	δ_{max}	2,64	cm
Verifica	$\delta_d < \delta_{\text{max}}$	1,79 < 2,64	verificato

Tabella 36. Verifica a deformabilità per la trave IPE 270.

Verifica a flessione monoassiale retta (SLU)

Momento flettente dovuto a carichi concentrati	$M_{ed(\text{conc})}$	67,39	kNm
Momento flettente dovuto a carichi distribuiti	$M_{ed(\text{dis})}$	1,97	kNm
Momento totale di progetto	M_{ed}	69,35	kNm
Momento flettente resistente	M_{rd}	95,99	kNm
Verifica	$M_{ed}/M_{rd} < 1$	0,72	verificato

Tabella 37. Verifica a flessione monoassiale retta per la trave primaria del soppalco IPE 270.

Verifica a taglio (SLU)

Altezza trave	h	270	mm
Spessore anima	t_w	135	mm
Area resistente a taglio	A_v	2214,32	mm ²
Taglio dovuto ai carichi concentrati	$V_{ed(\text{conc})}$	33,37	kN
Taglio dovuto ai carichi distribuiti	$V_{ed(\text{dis})}$	1,19	kN
Taglio totale di progetto	V_{ed}	34,56	kN
Taglio resistente	V_{rd}	286,13	kN
Verifica	$V_{ed}/V_{rd} < 1$	0,12	verificato

Tabella 38. Verifica a taglio per la trave primaria del soppalco IPE 270.

Trave principale – Copertura corridoio

Per il calcolo della trave principale della copertura del corridoio si è seguito lo stesso procedimento utilizzato per le altre travi primarie dimensionate. Si riportano di seguito le tabelle riassuntive con le verifiche effettuate.

Si è iniziato con il dimensionamento allo SLE. L'inerzia minima da ricercare era di 3449,47 cm⁴, si è così optato per un profilo IPE 240, che ha un'inerzia di 3892 cm⁴.

Verifica deformabilità (SLE) della trave secondaria di copertura $\delta_{max}=1/200$

Modulo elastico	E	210000	MPa
Luce tra gli appoggi	l	6,60	m
Interasse	i	3	m
Area d'influenza	A _i	19,80	m ²
Carichi (SLE)	Q _d	39,91	kN
Freccia max ammissibile	δ_{max}	0,033	m
Inerzia min da cercare	J _x	3449,47	cm ⁴
Profilo scelto	IPE	240	-
Inerzia del profilo	J _x	3892	cm ⁴

Tabella 39. Calcoli allo SLE per le travi primarie della copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 240.

Si effettua la verifica allo SLU di flessione monoassiale retta, dalla quale sceglie un profilo IPE 300 che rispetti il minimo valore di modulo resistente plastico W_x.436,61 cm³.

Flessione monoassiale retta (SLU) della trave secondaria di copertura $\delta_{max}=1/200$

Tensione di snervamento	f _{yk}	235	N/mm ²
Coef. Sicurezza (acciaio classe1)	γ _{Mo}	1,05	-
Profilo da SLE	IPE	240	-
Modulo di resistenza elastico	W _{el}	324,3	cm ³
Carichi (SLU)	Q _d	59,22	kN
Momento flettente di calcolo	M _{ed}	97,72	kNm
Modulo di resistenza plastico	W _x	436,61	cm ³
Profilo IPE scelto	IPE	300	-

Tabella 40. Calcoli allo SLU per le travi primarie del corridoio del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.

Si eseguono quindi le verifiche di deformabilità (allo SLE), di flessione monoassiale retta e di taglio (entrambe allo SLU) per il profilo scelto IPE 300 con:

- Inerzia, I_x = 8356 cm⁴
- Modulo di resistenza, W_x = 557,1 cm³
- Peso = 0,422 kN/m

Verifica a deformabilità (SLE)

Freccia dovuta ai carichi concentrati	$\bar{\delta}_{d(\text{conc})}$	1,36	cm
Freccia dovuta ai carichi distribuiti	$\bar{\delta}_{d(\text{dis})}$	0,06	cm
Freccia totale di progetto	$\bar{\delta}_d$	1,42	cm
Freccia max ammissibile	$\bar{\delta}_{\text{max}}$	3,30	cm
Verifica	$\bar{\delta}_d < \bar{\delta}_{\text{max}}$	1,42 < 3,30	verificato

Tabella 41. Verifica a deformabilità per la trave IPE 300.

Verifica a flessione monoassiale retta (SLU)

Momento flettente dovuto a carichi concentrati	$M_{ed(\text{conc})}$	97,72	kNm
Momento flettente dovuto a carichi distribuiti	$M_{ed(\text{dis})}$	2,30	kNm
Momento totale di progetto	M_{ed}	100,02	kNm
Momento flettente resistente	M_{rd}	124,68	kNm
Verifica	$M_{ed}/M_{rd} < 1$	0,80	verificato

Tabella 42. Verifica a flessione monoassiale retta per la trave IPE 300.

Verifica a taglio (SLU)

Altezza trave	h	270	mm
Spessore anima	t_w	135	mm
Area resistente a taglio	A_v	2214,32	mm ²
Taglio dovuto ai carichi concentrati	$V_{ed(\text{conc})}$	33,37	kN
Taglio dovuto ai carichi distribuiti	$V_{ed(\text{dis})}$	1,19	kN
Taglio totale di progetto	V_{ed}	34,56	kN
Taglio resistente	V_{rd}	286,13	kN
Verifica	$V_{ed}/V_{rd} < 1$	0,12	verificato

Tabella 43. Verifica a taglio retta per la trave IPE 300.

Pilastro

Per facilitare i calcoli il pilastro preso in esame viene considerato come una colonna continua su cui, piano per piano, vengono applicati dei carichi assiali corrispondenti alle reazioni vincolari delle travi gravano su di esso.



Figura 166. Schema statico per il dimensionamento del pilastro. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Pilastro di bordo

Le reazioni vincolari che sollecitano il pilastro di bordo da dimensionare sono quelle di una trave di copertura, tre travi secondarie del soppalco, due travi primarie del solaio controterra e due travi secondarie del solaio controterra. Prima di procedere al dimensionamento della colonna, e alla successiva verifica di compressione, è perciò necessario calcolare le reazioni vincolari di travi principali e secondarie allo SLU:

- trave secondaria copertura: 24,19 kN
- trave secondarie soppalco: $33,37 \cdot 3 = 100,11$ kN
- trave principale piano terra : $75,36 \cdot 2 = 150,72$ kN
- trave secondaria piano terra: $72,40 \cdot 2 = 144,80$ kN

Una volta individuati i carichi agenti lungo tutta la lunghezza del pilastro si determina la forza di compressione totale agente sulla colonna N_{ed} come segue:

$$N_{ed\ tot} = (24,19 + 100,11 + 150,72 + 144,80) = 419,82 \text{ kN}$$

Dalla normativa è possibile definire $N_{b,Rd}$ come resistenza di calcolo a compressione, data dalla seguente formula:

$$N_{b,Rd} = (A \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

dove:

- A = sezione della colonna;
- f_{yk} = resistenza caratteristica di snervamento in base alla qualità dell'acciaio;
- γ_{M0} = coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità per le sezioni di classe 1-2-3-4.

Da questa formula è possibile ricavare il valore di A, e quindi dimensionare direttamente la colonna, uguagliando il valore di $N_{b,Rd}$ alla forza di compressione di calcolo N_{Ed} :

$$A = (419,82 \text{ kN} \cdot 1,05) / 235 \text{ N/mm}^2 = 1875,79 \text{ mm}^2$$

Da questa formula si ricava che $A = 18,76 \text{ cm}^2$. Moltiplicando tale valore per un numero sperimentale pari a 2 ricavo l'area della sezione della colonna da confrontare con il prontuario a disposizione:

$$A' = A \cdot 2 = 37,52 \text{ cm}^2$$

Perciò il profilo HEB la cui sezione si avvicina di più a tale valore è: HEB 140 con $A=42,96 \text{ cm}^2$

Verifica a compressione

La forza di compressione di calcolo N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} \leq 1$$

La resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$ ricalcolata vale, secondo la formula precedentemente descritta:

$$N_{c,Rd} = (42,96 \text{ cm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2) / 1,05 = 961,49 \text{ kN}$$

Perciò dato il carico $N_{Ed} = 419,82$ si esegue la verifica:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 419,82 \text{ kN} / 961,49 \text{ kN} = 0,44 < 1$$

Il profilo HEB 140 risulta verificato a compressione rispetto ai carichi relativi allo SLU.

Controventi

Per il dimensionamento dei controventi bisogna far riferimento alle forze orizzontali che agiscono sull'edificio, ovvero il vento e il sisma.

Per trovare la forza orizzontale dovuta al vento bisogna moltiplicare le pressioni ricavate precedentemente dall'analisi del vento per le superfici sulle quali esse sono applicate. Tale superficie corrisponde a metà della parete del piano superiore e metà di quello inferiore.

La pressione massima del vento, come precedentemente calcolato, risulta essere pari a:

$$\text{Per la copertura: } P = -243,47 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Per la parete sottovento: } P = -243,47 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Per la parete sopravvento: } P = 462,94 \text{ N/m}^2$$

Al fine di determinare il carico agente sui controventi è necessario sommare quelle che sono le forze di sopravvento e di sottovento piano per piano e successivamente amplificarle per il coefficiente di iperstaticità 1,5.

$$F_{H(\text{vento})} = (3,6 - 1,86) \text{ kN} \cdot 1,5 = 2,61 \text{ kN}$$

La forza orizzontale dovuta al sisma, già calcolata vale:

$$F_{H(\text{sisma})} = 0,18 \text{ kN.}$$

Dall'analisi di distribuzione delle forze orizzontali risulta evidente come i controventi siano maggiormente sollecitati dall'azione del vento. Pertanto utilizzeremo questa come condizione peggiore per il dimensionamento.

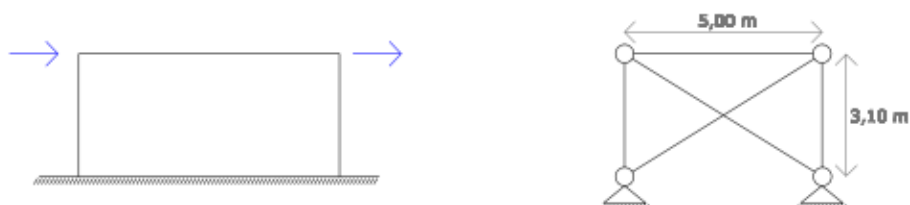


Figura 167. Forze orizzontali agenti sull'edificio e schema statico per il dimensionamento del controvento. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Per il dimensionamento del controvento si prendono in esame i carichi ottenuti dalla analisi della distribuzione delle forze orizzontali del vento (situazione più sfavorevole). Lo schema statico di seguito riportato illustra il controvento come una trave reticolare, presentando unicamente gli elementi diagonali in trazione e tralasciando quelli in compressione. Si procede quindi con il calcolo delle reazioni vincolari e delle azioni interne.

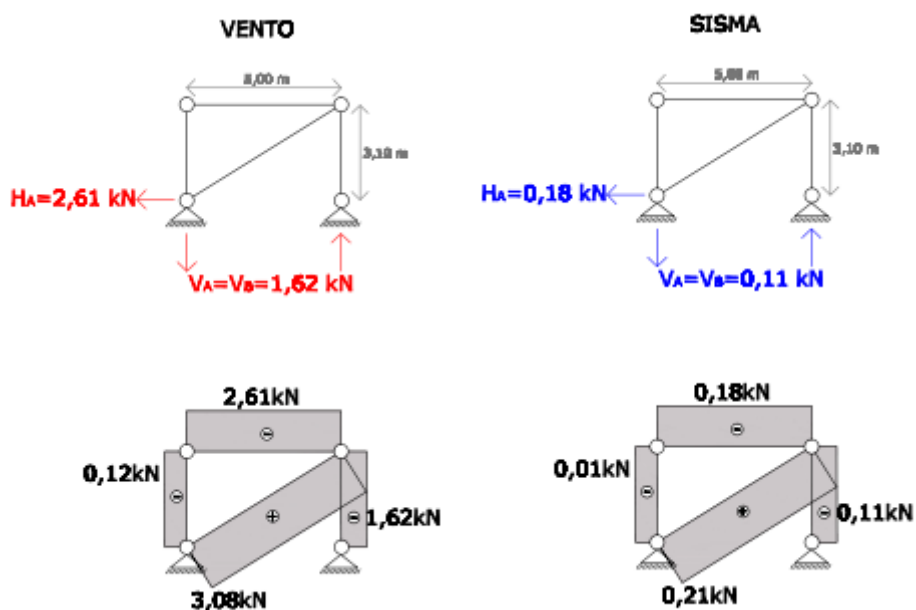


Figura 168. Reazioni vincolari e azioni interne. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Si procede ora con la determinazione del profilo del diagonale più teso e la verifica del profilo del pilastro precedentemente progettato.

I diagonali, ipotizzati come dei profili a "L", sono tesi e si procede a farne la verifica a trazione. La verifica viene fatta sul diagonale che risulta maggiormente teso, con

azione assiale pari 3,08 kN. Secondo la norma l'elemento considerato deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

Si procede con la determinazione dell'area del profilo tramite la formula inversa della seguente formula, inserendo al posto della resistenza plastica, $N_{pl,Rd}$, il valore dell'azione assiale:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

L'area risulta essere pari a 13,76 mm².

In base all'area trovata si sceglie da scheda tecnica un profilo angolare con A simile al valore appena trovato. Si opta quindi per un profilo angolare a lati uguali 15X3 mm con area pari a $A = 0,819 \text{ cm}^2$.

Il valore della resistenza di calcolo a trazione con i valori del profilo scelto risulta: $N_{t,Rd} = 18,33 \text{ kN}$.

Si esegue la verifica del diagonale:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{3,08}{18,33} = 0,17 \leq 1$$

Il profilo angolare 15x3 mm risulta quindi verificato a trazione.

Verifica a compressione del pilastro HEB 140

La forza di compressione di calcolo N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

L'azione assiale N_{Ed} vale 1,62 kN, precedentemente calcolata, mentre $N_{c,Rd}$ vale 961,49 kN (calcolata utilizzando l'area del pilastro HEB 140 di 4296 mm²). Si esegue quindi la verifica:

$$\frac{1,62 \text{ kN}}{961,49 \text{ kN}} = 0,002 \leq 1$$

Il profilo HEB 140 risulta quindi verificato a compressione.

CAPITOLO 8. IL PROGETTO IMPIANTISTICO

Nel seguente capitolo verranno affrontate le tematiche relative alla scelta delle strategie impiantistiche per il riscaldamento e raffrescamento, la ventilazione meccanica, produzione di ACS e il fabbisogno elettrico.

8.1 Scelte progettuali e quadro normativo

La progettazione di un edificio energeticamente efficiente è il risultato di molteplici fattori e tra questi, il corretto dimensionamento dell'impianto gioca un ruolo fondamentale. L'impianto, infatti, deve essere progettato in modo che sia il più efficiente possibile per soddisfare il fabbisogno dell'edificio, ma, allo stesso tempo, deve contribuire al risparmio energetico consumando poca energia.

In questo capitolo verranno affrontate le tematiche relative alla scelta delle strategie impiantistiche per il riscaldamento, raffrescamento, ventilazione meccanica, produzione di ACS e produzione di energia elettrica, facendo riferimento alla seguenti normative:

- UNI 10339: "Impianti aeraulici a fini di benessere";
- UNI 10349: "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici";
- UNI/TS 11300-1: "Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale".
- UNI/TS 11300-2: "Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".
- UNI 9182: "Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Criteri di progettazione, collaudo e gestione".

Si è scelto di dimensionare il sistema impiantistico del centro ricreativo. Data la tipologia di edificio e la sua conformazione, è stata proposta una strategia di climatizzazione mista aria acqua. La scelta è stata quella di affidare il trattamento e il ricambio dell'aria ad una UTA esterna (impianto ad aria), con bocchette di mandata e ripresa che rimarranno a vista all'interno degli ambienti. Mentre per quanto riguarda il riscaldamento e il raffrescamento, si è proposto un sistema di ventilconvettori, (impianto ad acqua) alimentati da una pompa di calore del tipo "aria acqua". L'impianto in questione dovrà quindi soddisfare il fabbisogno invernale ed estivo, inoltre dovrà garantire la ventilazione meccanica nelle stagioni estreme, estate e inverno, e assicurare la qualità dell'aria immessa.

L'attenta analisi delle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio ha permesso di progettare un edificio energeticamente efficiente e, quindi, di ridurre le potenze da installare per soddisfare la richiesta degli edifici.

Considerando invece la produzione di ACS, anch'essa sarà affidata alla pompa di calore con un serbatoio di piccole dimensioni, infatti, come si vedrà in seguito, il consumo di acqua calda per il centro ricreativo risulta essere minimo.

Il fabbisogno di energia elettrica sarà soddisfatto tramite un sistema di pannelli fotovoltaici applicati sulla copertura dell'edificio "Parking".

Si è inoltre pensato ad un sistema di raccolta delle acque meteoriche.

Di seguito viene proposto uno schema riassuntivo delle strategie impiantistiche utilizzate per il centro ricreativo IN-ARCH e per l'edificio del centro sportivo e parcheggio:

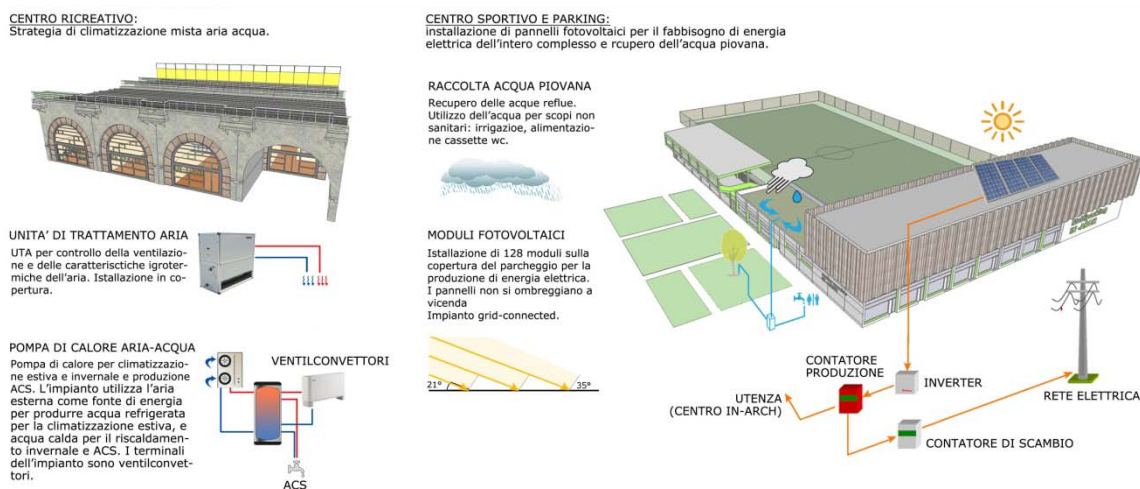


Figura 169. Estratto della tavola 8.01, *Schema impianti*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

8.2 Calcolo dei carichi termici

Nel paragrafo seguente vengono determinati per primi i carichi termici invernali, dovuti alle dispersioni, e poi quelli estivi, prodotti dai guadagni interni e da quelli solari. La finalità di questa trattazione è quella di fare un bilancio del fabbisogno energetico in fase estiva invernale, al fine di dimensionare la pompa di calore necessaria per la climatizzazione dell'edificio.

Fase invernale

Il fabbisogno termico Q_t risulta dato dalla somma di due termini: il calore trasmesso per conduzione e convezione dalle pareti disperdenti opache e trasparenti Q_d e il calore necessario per il preriscaldamento dell'aria esterna di ventilazione Q_v . Risulta quindi:

$$Q_t = Q_d + Q_v$$

La formula che regola lo scambio termico per tre trasmissioni in regime stazionario attraverso una parete è:

$$Q_d = H_t \cdot (t_i - t_e) \cdot t$$

Con:

H_t = coefficiente di dispersione termica per trasmissione [W/K]

t_i = temperatura interna [°C];

t_e = temperatura esterna [°C];

t = periodo [h]

Il coefficiente di dispersione termica per trasmissione H_t è dato dalla somma di diversi fattori:

$$H_t = H_d + H_g + H_u + H_a$$

Con

H_d = coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli elementi edilizi di separazione (opachi e trasparenti) tra spazio riscaldato e aria esterna

H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno

H_u = coefficiente di scambio termico attraverso spazi non riscaldati (nel caso in esame non sono presenti ambienti non riscaldati)

H_a = coefficiente di scambio termico verso altri ambienti climatizzati a temperatura diversa.

Per il calcolo si sono presi in considerazione tutti gli elementi che concorrono alla dispersione del calore per conduzione, che sono:

- chiusure opache;
- chiusure trasparenti;

- chiusure contro-terra;
- dispersioni da ponti termici.

Negli ambienti abitati, avendo produzione di anidride carbonica, odori, fumi, ecc., è opportuno prevedere un certo rinnovo dell'aria al fine di mantenere un ambiente unicamente sano. Il flusso termico Q che si deve fornire all'ambiente per sopperire alle infiltrazioni di aria esterna (sia naturali che artificiali) si può esprimere con la seguente espressione:

$$Q_v = H_v \cdot (t_i - t_e) \cdot t$$

Con

H_v = coefficiente di ventilazione con l'ambiente a t_e [W/K]

t_i = temperatura interna [°C];

t_e = temperatura esterna [°C];

t = periodo [h]

Il coefficiente di ventilazione H_v è dato dalla seguente espressione

$$H_v = V \cdot n \cdot p_a \cdot c_a$$

Con

V = volume riscaldato [m³]

n = numeri di ricambi orari [h⁻¹]

$p_a \cdot c_a$ = capacità termica dell'aria = 1200 [J/m³K] = 0,33 [Wh /m³K].

Per il calcolo delle dispersioni si sono usati i valori di temperatura forniti dalla norma UNI 10349 relativi alla località di Milano

 mese 	 T_i 	 T_e 	 Δt
Gennaio	20 °C	1,7 °C	18,3 °C
Febbraio	20 °C	4,2 °C	15,8 °C
Marzo	20 °C	9,2 °C	10,8 °C
Aprile	20 °C	14 °C	6 °C
Maggio	26 °C	17,9 °C	8,1 °C
Giugno	26 °C	22,5 °C	3,5 °C
Luglio	26 °C	25,1 °C	0,9 °C
Agosto	26 °C	24,1 °C	1,9 °C

Settembre	26 °C	20,4 °C	5,6 °C
Ottobre	20 °C	14 °C	6 °C
Novembre	20 °C	7,9 °C	12,1 °C
Dicembre	20 °C	3,1 °C	16,9 °C

Tabella 44. Valori di temperatura per il sito di progetto con t_i pari a 20°C per i mesi in cui è previsto il riscaldamento e 26°C per quelli da raffreddare.

Vengono di seguito riportate le tabelle riassuntive effettuate per il calcolo delle dispersioni.

Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici opache

$H_d = \sum_i A_i \cdot U_i$			
$U_i =$	trasmissanza termica dell'elemento opaco i-esimo	0,116	W/m ² K
$A_i =$	superficie dell'elemento opaco i-esimo dell'involucro	2082,33	m ²
$H_d =$	Coef. di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici opache	241,55	W/K

Tabella 45. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici opache

Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici trasparenti

$H_d = \sum_i A_i \cdot U_i$			
$U_i =$	trasmissanza termica dell'elemento trasparente i-esimo	1,6	W/m ² K
$A_i =$	superficie dell'elemento trasparente i-esimo dell'involucro	308,68	m ²
$H_d =$	Coef. di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici trasparenti	493,89	W/K

Tabella 46. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici trasparenti

Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno

$H_g = \sum_i A_i \cdot U_i$			
$U_i =$	trasmissione termica del terreno	1,5	W/m ² K
$A_i =$	superficie a contatto con il terreno	899,2	m ²
$H_g =$	Coef. di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici trasparenti	1348,8	W/K

Tabella 47. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno

Coefficiente di dispersione termica per ventilazione naturale

$H_v = V \cdot n \cdot p_a \cdot c_a$			
$V \cdot n =$	Portata d'aria (secondo UNI 10339)	6600	m ³ /h
$p_a \cdot c_a =$	capacità termica dell'aria	0,33	Wh /m ³ K
$H_v =$	Coefficiente di dispersione termica per ventilazione naturale	2178	W/K

Tabella 48. Coefficiente di dispersione termica per ventilazione naturale

Il valore totale del coefficiente di scambio termico per trasmissione nel caso in esame è dato dalla somma dei H_d e H_g non essendoci locali non riscaldati ed essendo la temperatura di riscaldamento uguale per tutti gli ambienti.

$$H_d = (241,55 + 493,89 + 1348,8) \text{ W/K} = 2084,24 \text{ W/K}$$

Moltiplicando il valore del coefficiente di scambio termico per trasmissione per la differenza di temperatura e per il periodo di riscaldamento si ottengono i valori delle dispersioni per trasmissione in KWh.

Analogamente si procede per il calcolo delle dispersioni termiche per ventilazione.

Sommando i valori delle dispersioni per trasmissione e ventilazione si ottengono le dispersioni totali, mese per mese:

mese	Q_d [KWh.]	Q_v [KWh.]	$Q_t = Q_d + Q_v$ [KWh.]
Gennaio	28377,32	29653,91	58031,23
Febbraio	22129,61	23125,13	45254,74
Marzo	16747,27	17500,67	34247,94
Aprile	9003,91	9408,96	18412,87
Maggio	12560,45	13125,50	25685,95

Giugno	5252,28	5488,56	10740,84
Luglio	1395,61	1458,39	2854
Agosto	2946,28	3078,829	6025,1
Settembre	8403,65	8781,70	17185,34
Ottobre	9304,04	9722,59	19026,63
Novembre	18157,88	18974,74	37132,62
Dicembre	26206,38	27385,30	53591,68

Tabella 49. Dispersioni per trasmissione, ventilazione e totali in KWh

Fase estiva

Si procede ora al calcolo del carico termico, dato dal calore sensibile e latente, che si trasmettono all'interno dei locali per trasmissione, infiltrazione e irraggiamento, e che sono prodotti all'interno e locali stessi.

Il carico termico è dato da:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{so}$$

Con:

Q_{int} = apporti gratuiti interni

Q_{sol} = apporti solari su superfici opache e trasparenti.

Gli apporti gratuiti interni si valutano zona per zona, mese per mese con la seguente formula:

$$Q_{int} = [\sum_k \Phi_{int,mn,k}] \cdot t + [\sum_j (1 - b_{tr,j}) \cdot \Phi_{int,mn,u,j}] \cdot t$$

Con:

$\Phi_{int,mn,k}$ = flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna mediato sul tempo, da norma UNI TS 11300-1

$\Phi_{int,mn,u,j}$ = flusso termico prodotto dalla j-esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente, mediato sul tempo

$b_{tr,j}$ = fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna j-esima

t = durata del periodo considerato [h]

Analogamente agli apporti gratuiti interni, gli apporti gratuiti solari si valutano, per ogni zona e per ogni mese, con la formula:

$$Q_{sol} = [\sum_k \Phi_{sol,mn,k}] \cdot t + [\sum_j (1 - b_{tr,j}) \cdot \Phi_{sol,mn,u,j}] \cdot t$$

Con:

$\Phi_{sol,mn,k}$ = flusso termico k-esimo di origine solare mediato sul tempo [kWh]

$\Phi_{sol,mn,u,j}$ = flusso termico j-esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente, mediato sul tempo

$b_{tr,j}$ = fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato

t = durata del periodo considerato [h]

Il flusso termico di origine solare $\Phi_{sol,mn,k}$ si calcola con la seguente formula:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,mn,k}$$

Dove:

$F_{sh,ob,k}$ = fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva sulla superficie k-esima, ottenibile dalla normativa UNI TS 11300-1.

$A_{sol,k}$ = area di captazione solare effettiva della superficie k-esima con dato orientamento e angolo d' inclinazione sul piano orizzontale [m²].

$I_{sol,mn,k}$ = irradianza solare media mensile sulla superficie k-esima con dato orientamento e angolo d' inclinazione sul piano orizzontale, ottenibile dalla normativa UNI 10349 in W/m²

Nel caso oggetto di studio gli apporti gratuiti sono dati dai quelli interni e da quelli solari sulle sole superfici trasparenti, essendo le facciate completamente vetrate.

Si riporta di seguito il calcolo dei guadagni, effettuato zona per zona e mese per mese con le formule suddette.

Guadagni gratuiti interni

L'edificio non presenta zone non riscaldate quindi non si hanno apporti interni da sorgenti poste in ambienti non riscaldati. Gli apporti interni gratuiti nel caso di edifici con destinazioni d'uso diverse da quella residenziale sono dati dalla normativa. Avendo l'edificio una funzione mista, non tabulata in normativa, si è scelta come destinazione d'uso quella più simile, ovvero quella di biblioteca:

Apporti medi globali: 8 [W/m²]

Superficie: 899,2 [m²]

Gli apporti interni gratuiti = 8[W/m²] \cdot 899,2[m²] = 7193,6 [W]

Gli apporti gratuiti interni mese per mese in kWh sono riportati nella seguente tabella:

me se	Apporti gratuiti interni Q_{int} [kWh]
Gennaio	5352,04
Febbraio	4834,110
Marzo	5352,04
Aprile	5179,39
Maggio	5352,04
Giugno	5179,39
Luglio	5352,04
Agosto	5352,04
Settembre	5179,39
Ottobre	5352,04
Novembre	5179,39
Dicembre	5352,04

Tabella 50. Apporti gratuiti interni mese per mese [kWh]

Apporti gratuiti solari da superfici vetrate

Come già detto il flusso termico di origine solare dipende dalla superficie di captazione solare, dall'energia che incide sulla superficie vetrata e da un fattore di riduzione per ombreggiatura.

Il fattore di riduzione per ombreggiatura $F_{sh,ob,k}$ può essere calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne, aggetti orizzontali e aggetti verticali. I valori dei fattori di ombreggiatura possono dipendere da latitudine, orientamento dell'elemento ombreggiato, clima, periodo considerato ...

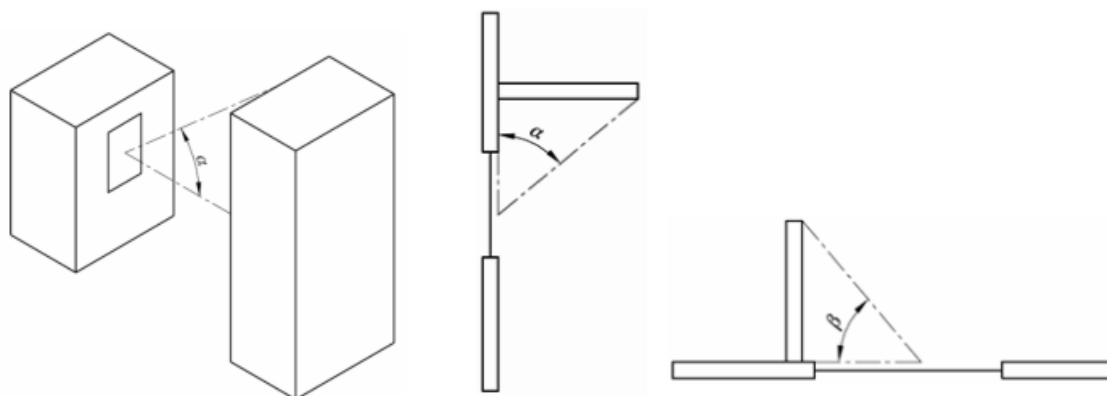


Figura 170. Fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzione esterna, aggetto orizzontale e aggetto verticale. Fonte: norma UNI TS 11300-1.

Nel caso in esame il fattore di ombreggiatura è dato dal solo termine dovuto ad aggetti orizzontali, costituiti dalle arcate, essendo il centro ricreativo arretrato rispetto a queste. E' stato scelto un fattore di ombreggiatura dovuto ad aggetti orizzontali, per le due esposizioni, a nord con un angolo α di 12° , e a sud con un angolo α di 30° .

Per quanto riguarda l'area di captazione solare di un componente vetrato dell'involucro, $A_{sol,k}$, essa è tiene conto di alcuni fattori dovuti alle caratteristiche di trasmissione del vetro, della sua composizione, della peculiarità della struttura dell'infisso stesso (come la percentuale di telaio oppure la presenza di vetro doppio o triplo, al gas di intercapedine) e di fattori dovuti all'ombreggiamento. Essa viene calcolata con la seguente formula:

$$A_{sol,k} = g_{gl,k} \cdot F_{sh,gl,k} \cdot (1 - F_{F,k}) \cdot A_{w,p,k}$$

con:

$g_{gl,k}$ = trasmittanza solare della parte trasparente del componente vetrato k-esimo quando la schermatura non è utilizzata

$F_{sh,gl,k}$ = fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili

$F_{F,k}$ = frazione di area relativo al telaio, secondo normativa vale 0,2

$A_{w,p,k}$ = area proiettata totale del componente vetrato [m^2]

La trasmittanza solare della parte trasparente del componente vetrato k-esimo, $g_{gl,k}$, può essere ricavata moltiplicando i valori di trasmittanza solare per incidenza normale ($g_{gl,n}$) per un fattore di esposizione (F_w) assunto pari a 0,9.

$$g_{gl,k} = g_{gl,n} \cdot F_w = 0,67 \cdot 0,9 = 0,603$$

Si è scelto un valore di $g_{gl,n}$ pari a 0,67, relativo alle caratteristiche di un doppio vetro con rivestimento basso-emissivo.

Il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili si calcola con la seguente formula:

$$F_{sh,gl,k} = [(1 - f_{sh,with,k}) \cdot g_{gl} + F_{sh,with,k} \cdot g_{gl,sh,k}] / g_{gl,k}$$

Con:

$F_{sh,with,k}$ = frazione di tempo per cui è utilizzata la schermatura pesata sull'irradianza, dipende quindi dal profilo temporale di questa, dal clima, dalla stagione e dall'esposizione.

$g_{gl,sh,k}$ = trasmittanza solare della parte trasparente del componente vetrato k-esimo quando la schermatura è utilizzata.

Sono quindi stati calcolati i valori di $F_{sh,with,k}$ mese per mese per le esposizioni nord e sud, seguendo la norma UNI TS-11300-1.

Per quanto riguarda il calcolo della trasmittanza solare della parte trasparente del componente vetrato k-esimo quando la schermatura è utilizzata, $g_{gl,sh,k}$ vale la seguente formula:

$$g_{gl,sh,k} = g_{gl,k} \cdot \text{fattore di riduzione} = 0,603 \cdot 0,42 = 0,25$$

Il fattore di riduzione è un valore che dipende dal tipo di schermatura utilizzata, nel caso in esame si è preso il valore 0,25 relativo ad una schermatura tipo tenda interna di tessuto colorato.

È possibile quindi calcolare il valore del fattore di riduzione degli apporti solari, mese per mese, per le due esposizioni nord e sud.

Per poter calcolare l'area di captazione solare di un componente vetrato dell'involucro, $A_{sol,k}$, resta da calcolare l'ultimo fattore $A_{w,p,k}$, ovvero l'area proiettata totale del componente vetrato, che nel caso in esame vale 180,68 m².

Una volta calcolata l'area di captazione solare si passa a calcolare l'irradianza solare media mensile. La normativa UNI 10349 ci fornisce i valori di irradiazione solare media mensile H [MJ/m²], dai quali è possibile ricavare i valori di irradianza I_{sol} [W/m²]. Nella seguente tabella se ne riportano i valori mese per mese, secondo i due orientamenti nord e sud, relativi alla località di progetto.

Mese	Irradianza media mensile I_{sol} [W/m ²].	
Gennaio	Nord	17,36
	Sud	69,44
Febbraio	Nord	27,78
	Sud	100,69
Marzo	Nord	42,82
	Sud	129,63
Aprile	Nord	62,50
	Sud	126,16
Maggio	Nord	90,28
	Sud	115,748
Giugno	Nord	108,80
	Sud	113,43
Luglio	Nord	108,80
	Sud	125

Agosto	Nord	74,07
	Sud	130,79
Settembre	Nord	48,61
	Sud	136,57
Ottobre	Nord	32,411
	Sud	119,21
Novembre	Nord	19,68
	Sud	77,55
Dicembre	Nord	15,05
	Sud	62,50

Tabella 51. Valori di irradianza solare media mensile. Fonte: norma UNI 10349

Noti i valori del fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni ($F_{sh,ob,k}$), l'area di captazione solare effettiva ($A_{sol,k}$) e l'irradianza solare media mensile ($I_{sol,mn,k}$) si può calcolare, moltiplicandoli tra di loro, il valore del flusso termico di origine solare, $\Phi_{sol,mn,k}$ [W]

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei guadagni solari Q_{sol} ottenuti, moltiplicando il flusso termico di calore per il periodo considerato (le ore di un mese), ottenendo un risultato in kWh.

Mese	Apporti gratuiti solari $Q_{sol} = \Phi_{sol,mn,k} \cdot t$ [kWh]	
Gennaio	Nord	771,84
	Sud	2196,62
Febbraio	Nord	1152,61
	Sud	2783,54
Marzo	Nord	1967,33
	Sud	3879,18
Aprile	Nord	2778,62
	Sud	3976,76
Maggio	Nord	4147,35
	Sud	3268,41
Giugno	Nord	4836,86

	Sud	3172,04
Luglio	Nord	4998,09
	Sud	3374,16
Agosto	Nord	3402,96
	Sud	3272,44
Settembre	Nord	2161,15
	Sud	3460,76
Ottobre	Nord	1488,79
	Sud	3149,66
Novembre	Nord	874,75
	Sud	2221
Dicembre	Nord	691,23
	Sud	1848,51

Tabella 52. Apporti gratuiti solari in kWh

Possiamo ora trovare i guadagni totali, dati dalla somma degli apporti gratuiti interni e degli apporti gratuiti solari. I risultati sono riportati nella seguente tabella:

Mese	Totale dei guadagni	$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$	[kWh]
Gennaio	Nord	6123,88	
	Sud	7548,66	
Febbraio	Nord	5986,71	
	Sud	7617,64	
Marzo	Nord	7319,37	
	Sud	9231,22	
Aprile	Nord	7958,02	
	Sud	9156,15	
Maggio	Nord	9499,39	
	Sud	8620,45	
Giugno	Nord	10016,26	

	Sud	8351,43
Luglio	Nord	10350,13
	Sud	8726,19
Agosto	Nord	8755
	Sud	8624,48
Settembre	Nord	7340,54
	Sud	8640,15
Ottobre	Nord	6840,83
	Sud	8501,70
Novembre	Nord	6054,14
	Sud	7400,39
Dicembre	Nord	6043,26
	Sud	7200,55

Tabella 53. Apporti gratuiti totali in kWh.

8.3 Calcolo del fabbisogno

Una volta determinati i carichi termici, nei periodi estivo e invernale, si è passati al calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e per il raffrescamento; grazie a questi dati si potrà quindi dimensionare una pompa di calore adeguata alle esigenze del centro ricreativo.

Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento

Il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento si trova sottraendo alle dispersioni totali gli apporti gratuiti totali moltiplicati per un fattore di utilizzazione.

Il fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento dell'edificio è dato dalla seguente formula:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol})$$

Con:

$Q_{H,ht}$ = scambio termico totale nel caso di riscaldamento;

$Q_{H,tr}$ = scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento;

$Q_{H,ve}$ = scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento;

Q_{gn} = apporti termici totali;

Q_{int} = apporti termici interni;

Q_{sol} = apporti termici solari;

$\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti termici.

Di seguito viene riportato uno schema che riassume la procedura utilizzata per il calcolo del fabbisogno energetico in fase invernale, secondo quanto indicato dalla normativa UNI TS 11300-1.

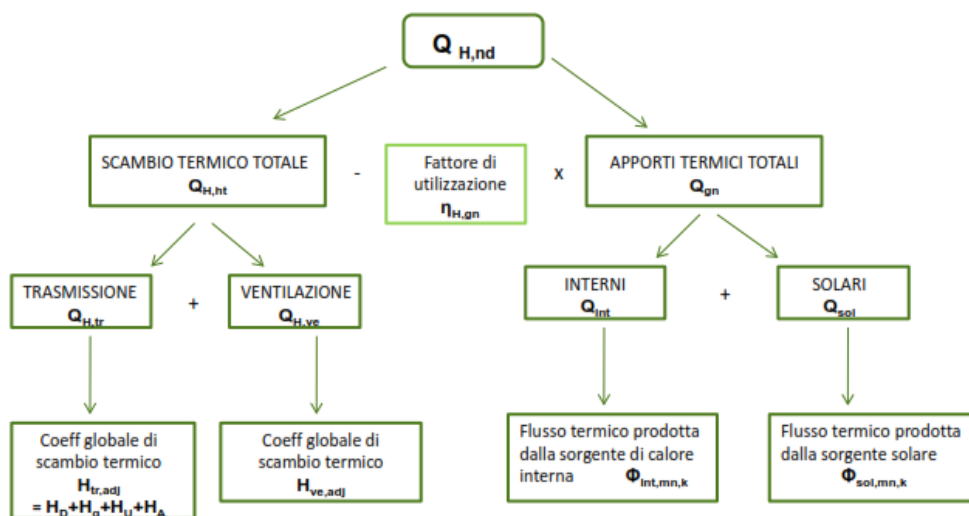


Figura 171. Schema riassuntivo della procedura utilizzata per il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

Ai fini del calcolo del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale bisogna ancora calcolare il fattore di utilizzazione degli apporti termici, esso si calcola come:

se $\gamma_H > 0$ e $\gamma_H \neq 1$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

se $\gamma_H = 1$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

Con:

$$\gamma_H = Q_{gn}/Q_{H,ht}$$

$$a_H = a_{H,0} + t/t_{h,0}$$

dove t è la costante di tempo termica della zona termica, espressa in ore, calcolata come rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata (C_m) e il suo coefficiente globale di scambio termico.

$$t = C_m/H_{tot} \text{ [h]}$$

C_m = capacità termica areica · superficie

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere

$$a_{H,0} = 1$$

$$t_{H,0} = 15 \text{ h.}$$

Nella seguente tabella si riportano i calcoli effettuati per trovare il fattore di utilizzazione degli apporti termici:

$a_H = a_{H,0} + t/t_{h,0}$		$\gamma_H = Q_{gn}/Q_{H,ht}$		fattore di utilizzazione				
$a_{H,0}$	1	-	Ottobre	0,79	0,33			
$t_{H,0}$	15	h	Novembre	0,36	0,44			
C_m	76432	kJ/K	Dicembre	0,24	0,50			
a_H	H_{tot}	4262,42	W/k	γ_H	Gennaio	0,23	$\eta_{H,gn}$	0,51
	t	4,98	h	Febbraio	0,32	0,46		
	a_H	0,40	-	Marzo	0,47	0,40		
			Aprile	0,93	0,30			

Tabella 54. Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti termici.

Il fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento dell'edificio mese per mese viene riportato nella seguente tabella. Il periodo di climatizzazione invernale per il sito di progetto va da ottobre ad aprile.

mese	Dispersioni [W]	Fattore di utilizzo	Guadagni [W]	Fabbisogno [kW]
Ottobre	25573,43	0,33	20157,58	19,13
Novembre	51573,08	0,44	18686,86	43,37
Dicembre	72031,83	0,50	17336,73	63,34
Gennaio	77998,96	0,51	17912,97	68,88
Febbraio	67343,36	0,46	21272,23	57,55
Marzo	46032,17	0,40	21781,32	37,37
Aprile	25573,43	0,30	23769,68	18,56

Tabella 55. Fabbisogno energetico per il climatizzazione invernale.

Per determinare il fabbisogno necessario per il dimensionamento della pompa di calore, si è considerato il mese con più dispersioni. Il fabbisogno invernale è dunque pari a 68,88 kW.

Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento

Il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento si trova sottraendo ai guadagni totali gratuiti le dispersioni totali moltiplicati per un fattore di utilizzazione.

Il fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento dell'edificio è dato dalla seguente formula:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,Is} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,Is} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

Con:

$Q_{C,ht}$ = scambio termico totale nel caso di raffrescamento;

$Q_{C,tr}$ = scambio termico per trasmissione nel caso di raffrescamento;

$Q_{C,ve}$ = scambio termico per ventilazione nel caso di raffrescamento;

Q_{gn} = apporti termici totali;

Q_{int} = apporti termici interni;

Q_{sol} = apporti termici solari;

$\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Ai fini del calcolo del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale bisogna ancora calcolare il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche, esso si calcola come:

se $\gamma_c > 0$ e $\gamma_c \neq 1$

$$\eta_{c,Is} = \frac{1 - \gamma_c^{-a_c}}{1 - \gamma_c^{-(a_c+1)}}$$

se $\gamma_c = 1$

$$\eta_{c,Is} = \frac{a_c}{a_c + 1}$$

Con:

$$\gamma_c = Q_{gn}/Q_{c,ht}$$

$$a_c = a_{c,0} + t/t_{c,0} - k \cdot (A_w/A_f)$$

dove t , come già detto, è la costante di tempo termica della zona termica, espressa in ore, calcolata come rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata (C_m) e il suo coefficiente globale di scambio termico.

$$t = C_m/H_{tot} \quad [h]$$

C_m = capacità termica areica · superficie

A_w = area finestrata [m^2]

A_f = area di pavimento climatizzata [m^2]

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere

$$a_{c,0} = 8,1$$

$$t_{c,0} = 17 \text{ h}$$

$$k = 13.$$

Nella seguente tabella si riportano i calcoli effettuati per trovare il fattore di utilizzazione degli apporti termici:

$a_c = a_{c,0} + t/t_{c,0} - k \cdot (A_w/A_f)$			$\gamma_c = Q_{gn}/Q_{c,ht}$		fattore di utilizzazione		
	$a_{c,0}$	8,1	-	Maggio	0,71	0,64	
a_c	$t_{c,0}$	17	h	γ_c	Giugno	1,71	0,95
	C_m	76432	kJ/K	Luglio	6,68	$\eta_{c,Is}$	1

H_{tot}	4262,42	W/k	Agosto	2,96	0,99
t	4,98	h	Settembre	0,95	0,77
a_c	3,91	-			

Tabella 56. Calcolo del fattore di utilizzazione delle dispersioni

Il fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento dell'edificio mese per mese viene riportato nella seguente tabella. Il periodo di climatizzazione estiva per il sito di progetto va da maggio a settembre.

 mese 	 Guadagni [W] 	 Fattore di utilizzazione 	 Dispersioni [W] 	 Fabbisogno [kW]
Maggio	24354,63	0,64	34524,13	2,24
Giugno	25510,68	0,95	14917,83	11,41
Luglio	25640,22	1	3836,014	21,81
Agosto	23996,96	0,99	8098,253	15,98
Settembre	22569,95	0,77	23868,53	4,11

Tabella 57. Fabbisogno energetico per il climatizzazione estiva.

Anche nel caso estivo per procedere al dimensionamento dell'impianto si è considerato il mese più critico, in questo caso luglio, con un fabbisogno di 21,81 kW per il raffrescamento.

8.4 La Pompa di calore

Il sistema impiantistico proposto prevede una pompa di calore, necessaria per il funzionamento dei ventilconvettori sia in estate che in inverno, e per la produzione di acqua calda sanitaria. Pertanto la strategia impiantistica è quella di affidare il controllo della temperatura, quindi la climatizzazione, alla pompa di calore, mentre la regolazione della qualità dell'aria è affidata ad una unità di trattamento dell'aria. Di seguito viene spiegato il dimensionamento della pompa di calore.

Riscaldamento e raffrescamento

La pompa di calore aria è un dispositivo che permette di spostare calore da un sistema ad una certa temperatura ad un sistema a temperatura superiore. L'innalzamento del livello termico avviene tramite uno scambio termico tra due fluidi distinti ed esterni alla pompa di calore, uno per l'ambiente esterno e l'altro per l'ambiente da climatizzare. Tra questi due ambienti si interpone il circuito frigorifero, cuore della pompa di calore, all'interno del quale il fluido refrigerante subisce le trasformazioni che ne rendono possibile il funzionamento.

La sorgente per la pompa di calore aria-acqua è dunque l'aria esterna, questa è una fonte energetica illimitata e sempre disponibile, inoltre il suo impiego non necessita di alcun iter autorizzativo. Quindi, l'impianto non fa altro che estrarre l'energia gratuita presente nell'aria e trasferirla nell'acqua sotto forma di calore. L'unica energia elettrica che richiede è quella assorbita dal compressore e dai ventilatori.

Gli elementi principali della macchina sono il condensatore e l'evaporatore, essi sono costituiti da scambiatori di calore, cioè tubi posti a contatto con un fluido di servizio: il fluido frigorifero. Questo cede calore al condensatore e lo sottrae all'evaporatore. Nel funzionamento il fluido frigorifero all'interno del circuito subisce le seguenti trasformazioni:

1. Compressione: il fluido frigorifero allo stato gassoso e a bassa pressione, proveniente dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; nella compressione si riscalda, assorbendo anche una certa quantità di calore dal compressore, di tipo meccanico-termico.
2. Condensazione: il fluido frigorifero, proveniente dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido, cedendo calore all'acqua dell'impianto di riscaldamento.
3. Espansione: passando attraverso la valvola di espansione, il fluido frigorifero liquido, riduce la propria pressione e temperatura (stato liquido).
4. Evaporazione: il fluido frigorifero assorbe calore dall'aria esterna, più calda del liquido refrigerante, spinta dall'azione dei ventilatori e del evaporatore, evapora completamente.

Il ciclo di funzionamento della pompa di calore sopra descritto, è riassunto dal seguente schema semplificato:

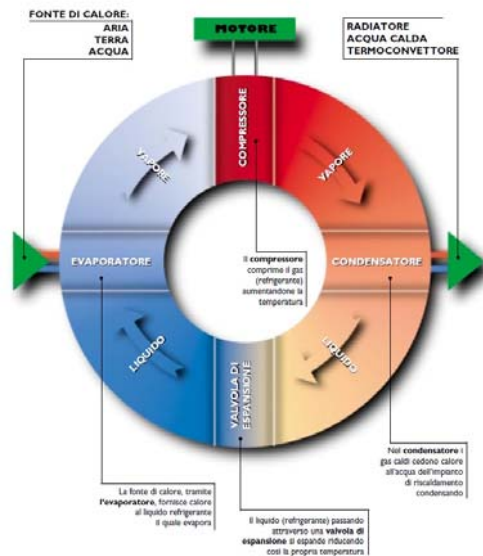


Figura 172. Schema del funzionamento della pompa di calore nella fase invernale. Fonte: www.rugiadapoint.it

Per dimensionare l'unità esterna si è fatto riferimento ai calcoli del fabbisogno termico eseguiti precedentemente; infatti sono stati considerati i valori di picco estivi ed invernali, si è poi dimensionata la pompa in base a quello maggiore, ossia quello invernale.

Fabbisogno invernale: 68,88 kW

Fabbisogno estivo: 21,81 kW

Pertanto è stata scelta un'unità termica che soddisfacesse questa richiesta di energia, si è pensato ad un modello tipo *AERMEC modello NRL 0330*, con una potenza termica di 76 kW, sufficiente a soddisfare la nostra richiesta. Come già accennato i terminali della pompa di calore saranno dei ventilconvettori.



Figura 173. Pompa di calore dimensionata per la climatizzazione dell'edificio. Fonte: www.aermeccom.com

Figura 174. Ventilconvettore utilizzato come terminale dell'impianto di climatizzazione del centro ricreativo. Fonte: www.aermeccom.com

La pompa di calore potrà essere utilizzata anche per la produzione di ACS; infatti l'unità scelta può produrre acqua calda fino ad una temperatura dell'ambiente esterno pari a -15°C . E' da sottolineare comunque che la richiesta di acqua del centro ricreativo sarà minima, sarà quindi possibile inserire un serbatoio di accumulo di acqua calda collegato alla pompa di calore.

Produzione di acqua calda sanitaria

Una volta scelta la pompa di calore si è provveduto al dimensionamento del serbatoio di accumulo per l'acqua calda sanitaria.

Per prima cosa, seguendo la norma UNI TS-11300-2, è stato calcolato il fabbisogno idrico dell'edificio nel modo che segue:

$$V_w = a \cdot N_u$$

dove:

a = fabbisogno giornaliero specifico [$\text{l}/\text{m}^2\text{G}$], in questo caso si è considerato il valore in tabella corrispondente alla funzione uffici, pari a 0,2

N_u = corrisponde alla superficie totale [m^2]

Pertanto: $V_w = 0,2 \text{ [l}/\text{m}^2\text{G}] \cdot 899,2 \text{ [m}^2] = 179,8 \text{ [l/G]}$

Successivamente è stato calcolato il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria, questa risulta essere:

$$Q_{h,w} = \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_0) \cdot G$$

dove:

ρ = massa volumica dell'acqua pari a 1000 [kg/m^3]

c = calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [$\text{Wh}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]

V_w = volume d'acqua richiesto [m^3]

θ_e = temperatura di erogazione pari a 40 [$^{\circ}\text{C}$]

θ_0 = temperatura d'ingresso dell'acqua fredda sanitaria pari a 15 [$^{\circ}\text{C}$]

G = numero di giorni del periodo di calcolo [G]

Quindi: $Q_{h,w} = 1000[\text{kg}/\text{m}^3] \cdot 1,162[\text{Wh}/\text{kg}^{\circ}\text{C}] \cdot 179,8 \text{ [l/G]} \cdot (40-15)[^{\circ}\text{C}] \cdot 30[\text{G}] = 161,9 \text{ kWh al mese}$

Ovvero 0,22 kW, tale valore risulta tuttavia sottodimensionato, infatti la potenza dell'impianto va calcolata in base alla richiesta di acqua calda nei periodi di punta.

Si è fatto quindi riferimento a un'altra norma UNI 9182, la quale prende in considerazione i periodi di punta di richiesta di acqua calda. Inizialmente si è determinato il calore totale, Q_t , necessario per riscaldare l'acqua richiesta nel periodo di punta:

$$Q_t = C \cdot (t_u - t_f) \text{ [kcal]}$$

dove:

C = consumo di acqua calda nel periodo di picco, pari a 40 [l]

t_u = temperatura di utilizzo, pari a 40 [°C]

t_f = temperatura di alimentazione dell'acqua fredda, pari a 15 [°C]

Pertanto: $Q_t = 40[l] \cdot (40-15)[°C] = 1000 \text{ kcal}$

Si determina poi il calore orario, Q_h , il quale deve essere ceduto all'acqua in base al calore totale richiesto e al tempo in cui esso può essere ceduto, si ha quindi:

$$Q_h = Q_t / (t_{pr} + t_{pu}) \text{ [kcal/h]}$$

dove:

Q_t = calore totale, pari a 1000 [kcal]

t_{pr} = periodo di preriscaldamento, pari a 1,5 [h]

t_{pu} = periodo di punta, pari a 2 [h]

Pertanto si ha: $Q_h = 1000[\text{kcal}] / (1,5+2)[\text{h}] = 285,7 \text{ kcal/h} = 0,33 \text{ kW}$

Tale valore rappresenta il fabbisogno di energia per produrre acqua calda sanitaria durante i periodi di picco, confrontandolo con quello calcolato precedentemente, ($Q_{h,w} = 0,22 \text{ kW}$) il secondo risulta essere maggiore, come previsto. Questo perché i valori calcolati utilizzando la norma UNI TS 11300-2 sono risultati medi. Per dimensionare la pompa di calore per la produzione di acqua calda sanitaria si è pertanto preso come riferimento il valore maggiore tra i due ovvero $Q_h = 0,33 \text{ kW}$

Si è poi calcolato il volume V del preparatore di acqua calda:

$$V = Q_a / (t_a - t_f)$$

dove:

$Q_a = Q_h \cdot t_{pr}$ [kcal] è il calore da accumulare, pari a 571,4 [kcal]

t_a = temperatura dell'acqua di accumulo, pari a 60 [°C]

t_f = temperatura dell'acqua fredda, pari a 15 [°C]

Pertanto: $V = 571,4[\text{kcal}] / (60-15)[°C] = 12,7 \text{ [l]}$

Considerando quindi il fabbisogno di energia e il volume del preparatore di acqua calda, è stato possibile scegliere una pompa di calore adeguata. Riassumendo i dati da tenere in considerazione per il dimensionamento sono stati:

Calore orario $Q_h = 0,33 \text{ [kW]}$

Volume del serbatoio $V = 12,7$ [l]

Si è quindi scelta una pompa di calore con un serbatoio di accumulo per l'ACS compatibile con i calcoli effettuati.

8.5. Unità di trattamento aria e ventilconvettori

Di seguito viene dimensionato l'impianto ad aria del centro ricreativo. Sono, per prima cosa, stati individuati i parametri delle condizioni climatiche esterne e interne che si terranno in considerazione per il progetto impiantistico.

- INVERNO

Temperatura interna: 20°C Umidità interna: 50%

Temperatura esterna: -5°C Umidità esterna: 80%

- ESTATE

Temperatura interna: 26°C Umidità interna: 50%

Temperatura esterna: 32°C Umidità esterna: 50%

Come accennato precedentemente, si è scelto di utilizzare un impianto misto aria-acqua, in questo tipo di impianto si dispone di due fluidi termo vettori distinti e regolabili indipendentemente: il "primario" destinato al controllo dell'umidità e della ventilazione degli ambienti, ed il "secondario" che sopperisce alle variazioni di temperatura che in essi si manifestano. Il fluido primario è aria, mentre quello secondario è l'acqua.

Viene installato un condizionatore per il trattamento dell'aria primaria avente la funzione di prelevare dall'esterno un quantitativo d'aria di aria e di trattarla opportunamente in relazione alle condizioni interne desiderate. All'aria viene affidato il compito di mantenere costante il grado igrometrico desiderato e di soddisfare le esigenze di ventilazione degli ambienti. L'aria primaria viene distribuita in rete a bassa velocità e a portata costante in condizioni di temperatura e umidità specifica comuni a tutti gli ambienti: l'aria viene mandata a temperature più basse di quella ambiente (per legge la differenza di temperatura non deve essere superiore ai 10°C), mentre l'umidità specifica è prossima a quella di saturazione per un migliore controllo dell'umidità ambiente. I canali sono dimensionati però per portate ridotte e velocità maggiori, compatibilmente con le perdite di carico e con valori accettabili di rumorosità.

Nei singoli ambienti vengono installati fan-coils alimentati con acqua calda o fredda, derivante dalla pompa di calore appena dimensionata, aventi lo scopo di controllare la temperatura desiderata e quindi bilanciare i carichi sensibili.

L'impianto misto aria-acqua è costituito dai seguenti componenti:

1. Un gruppo condizionatore centralizzato per il trattamento e il movimento dell'aria di rinnovo degli ambienti (aria primaria), composto da:
 - presa d'aria esterna provvista di serrande di regolazione;
 - sezione filtrante;
 - batteria a tubi alettati per il riscaldamento dell'aria;
 - sezione di umidificazione;
 - batteria a tubi alettati per il raffreddamento;
 - batteria a tubi alettati per il post-riscaldamento;

- un ventilatore accoppiato a motore elettrico per il movimento dell'acqua.
- 2. Un sistema di canalizzazioni facente capo al gruppo centralizzato per l'adduzione e l'immissione dell'aria primaria negli ambienti mediante bocchette o diffusori.
- 3. Un insieme di apparecchi di condizionamento operanti localmente, fan-coils, dislocati nei singoli ambienti, che provvedono alla ripresa dell'aria ambiente (aria secondaria).
- 4. Una rete di tubazioni di adduzioni dell'acqua riscaldante o refrigerante (acqua secondaria) dalla centrale termica o frigorifera ai terminali.
- 5. Una rete di tubazioni di adduzioni dell'acqua riscaldante o refrigerante (acqua primaria) dalla centrale termica o frigorifera alle batterie di riscaldamento o di raffreddamento del gruppo condizionatore centralizzato.
- 6. Un recuperatore di calore: il recupero di calore consiste nel trasferimento di energia tra l'aria ripresa dagli ambienti e l'aria esterna di rinnovo. Si è scelto un recuperatore di calore rotativo entalpico con un'efficienza del 70%.

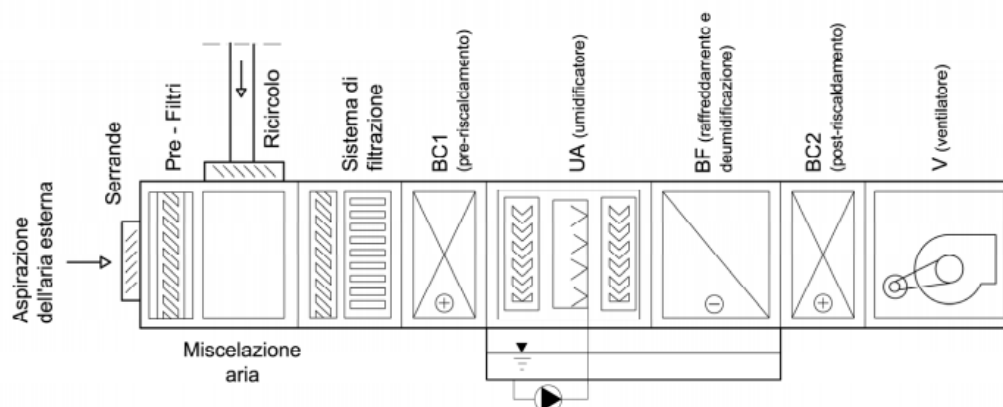


Figura 175. Schema funzionamento U.T.A. per il trattamento dell'aria de. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.

I ventilconvettori sono posizionati nei diversi ambienti, in essi, l'aria ambiente (aria secondaria) aspirata attraverso un ventilatore centrifugo nella parte bassa del mobiletto, passa successivamente attraverso un filtro piano e ricircolata a contatto della superficie di scambio, costituita da una o due batterie alettate Cu/Al nel cui interno circola acqua temperata, calda d'inverno e fredda d'estate.



Figura 176. Schema funzionamento dei ventilconvettori. Fonte: www.aermec.com

Per dimensionare l'unità di trattamento aria, occorre prima di tutto calcolare la portata d'aria necessaria. A questo proposito, valutando le destinazioni d'uso degli ambienti, la superficie lorda e le loro caratteristiche di affollamento, dalla normativa UNI 10339, si è calcolata la portata con la seguente formula:

$$P = \text{ricambi d'aria per persona} \cdot \text{indice di affollamento} \cdot \text{superficie}$$

Dalla normativa si ha:

Funzione	Ricambi d'aria per persona [m³/h]	Indice di affollamento	Superficie [m²]	Portata [m³/h]
Centro ricreativo	19,8	0,3	825,5	7238,29
bar	39,6	0,8	73,7	

Tabella 58. Tabella riassuntiva per il calcolo della portata d'aria.

Per il calcolo della portata d'aria da estrarre dai servizi si è fatto riferimento al Regolamento di igiene tipo della città di Milano, che prevede un ricambio di 6 volumi ora. Essendo il volume dei bagni di 87 m³ si ha una portata di 522 volumi ora.

La portata d'aria totale sarà:

$$P = 7238,29 + 522 = 7760,29 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Caso invernale

Nel caso invernale la temperatura esterna è di -5°C (punto A), mentre quella richiesta all'interno è di 20°C; si ha quindi una differenza di temperatura di 25°C. Attraverso il recuperatore di calore, si recupera il 70% del calore dall'aria espulsa, quindi 17,5°C. L'aria da trattare non sarà più a -5°C, ma a 12,5°C (punto B) riducendo il carico di riscaldamento della batteria. Quest'ultima scalda l'aria aumentandone la temperatura, nel nostro caso fino a 20°C (punto C), e mantenendo l'umidità assoluta costante di 5,8 g/kg.

Solitamente, nella condizione invernale, l'aria calda è troppo secca da poter essere messa in ambiente, quindi, risulta necessario un trattamento di umidificazione e post-riscaldamento, oppure si può scaldare a una temperatura più alta l'aria ed in seguito umidificarla. Nel nostro caso è sufficiente l'aumento di temperatura senza umidificazione successiva, poiché la differenza tra umidità assoluta ottenuta e quella nella condizione di 20°C a 50% di UR (punto D pari a 7,4 g/kg) è di 1,6 g/kg, che risulta essere una quantità minima.

Considerando una portata d'aria di 7760,29 m³/h, calcolata in precedenza, si determina la potenza della batteria di riscaldamento come:

$$Q = P \cdot C_s \cdot \Delta t$$

Con:

$P =$ portata d'aria [m^3/h]

$C_s =$ calore specifico dell'aria [$\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$]

$\Delta T =$ differenza di temperatura [K]

La potenza della batteria risulta essere quindi:

$$Q = 7760,29 \cdot 0,33 \cdot (20 - 12,5) = 19206,72 \text{ W}$$

Segue il diagramma di Mollier con le relative trasformazioni:

Caso estivo

Il processo di condizionamento estivo si compone di un raffreddamento con deumidificazione e post-riscaldamento. Lo scopo è quello di immettere aria che abbia un contenuto di umidità minore in modo da sopperire ai carichi latenti presenti nella stanza. Per fare ciò è necessario raffreddare l'aria fino ad arrivare alla temperatura di saturazione in modo che essa condensi e perda parte del suo contenuto d'acqua. Raggiunto il contenuto d'acqua desiderato sarà presumibilmente necessario post-riscaldarla perché questa non entri in ambiente con un ΔT maggiore di 10 °C (limite di legge).

Nel caso estivo l'aria, passando attraverso la batteria, si raffredda. La temperatura esterna è di 32°C (punto A), mentre quella interna da garantire è pari a 26°C; si ha quindi una differenza di temperatura di 6°C. Attraverso il recuperatore di calore, si cede il 70% del calore all'aria espulsa. L'aria da trattare non sarà più a 32°C, ma a 27,8°C (punto B) riducendo il carico di raffreddamento della batteria, a questa temperatura corrisponde un contenuto d'acqua, x_i , di 12,3 g/Kg.

Viene effettuato un raffreddamento con umidità specifica costante (12,3 g/kg), fino al raggiungimento del punto di saturazione (punto C, U.R. 100%). L'aria che dovrà essere immessa in ambiente, dovrà assolvere la parte dei carichi termici latenti presenti nell'ambiente. Per fare questo la si immette con un contenuto di acqua minore di quello dell'ambiente climatizzato.

La differenza di contenuto d'acqua dell'aria condizionata da immettere è stato così calcolato:

$$\Delta x = (Q_{\text{lat}} \cdot V_s) / (C_s \cdot V)$$

Con:

Q_{lat} = calore latente [W/persona]

V_s = volume specifico dell'aria [m^3/kg]

C_s = calore specifico dell'aria [W/g]

V_{aria} = Volume d'aria dell'ambiente considerato [m^3]

Nel caso in esame avremo:

$$\Delta x = 70 \cdot 10 \cdot 0,86 / (0,72 \cdot 610,5) = 1,37 \text{ [g/kg]}$$

L'aria immessa in ambiente avrà il seguente contenuto d'acqua

$$X_i - \Delta x = X_f$$

Con:

X_i = contenuto d'acqua iniziale [g/kg]

X_f = contenuto d'acqua finale [g/kg]

Δx = differenza del contenuto d'acqua [g/kg].

Nel caso in esame si avrà quindi:

$$X_f = 12,3 - 1,37 = 10,93 \text{ [g/kg]}.$$

A questo contenuto d'acqua corrisponde una temperatura di 14,5 °C (punto D), troppo fredda per essere immessa in ambiente, è necessario quindi un trattamento di post-riscaldamento fino al raggiungimento di una temperatura che rispetti un $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

Si procede al calcolo della potenza della batteria di raffreddamento nel seguente modo:

$$Q = P \cdot \Delta H$$

Con:

$$P = \text{portata d'aria [m}^3/\text{h]}$$

$$\Delta H = \text{differenza di entalpia [kcal/kg]}$$

Ricordando che il peso specifico dell'aria vale 1,225 kg/m³, si ha che la potenza della batteria di raffreddamento vale:

$$Q = 7760,29 [\text{m}^3/\text{h}] \cdot 7 [\text{kcal/kg}] \cdot 1,225 [\text{kcal/kg}] = 79,85 \text{ kW}.$$

Si procede quindi al dimensionamento della batteria di post riscaldamento:

$$Q = P \cdot C_s \cdot \Delta t$$

Con:

$$P = \text{portata d'aria [m}^3/\text{h]}$$

$$C_s = \text{calore specifico dell'aria [Wh/m}^3\text{K]}$$

$$\Delta t = \text{differenza di temperatura [K]}$$

La potenza della batteria risulta essere quindi:

$$Q = 7760,29 \cdot 0,33 \cdot (20 - 14,5) = 14084,93 \text{ W}$$

Segue il diagramma di Mollier con le relative trasformazioni:

DIAGRAMMA PSICOMETRICO
(P= 101,325 Kpa)

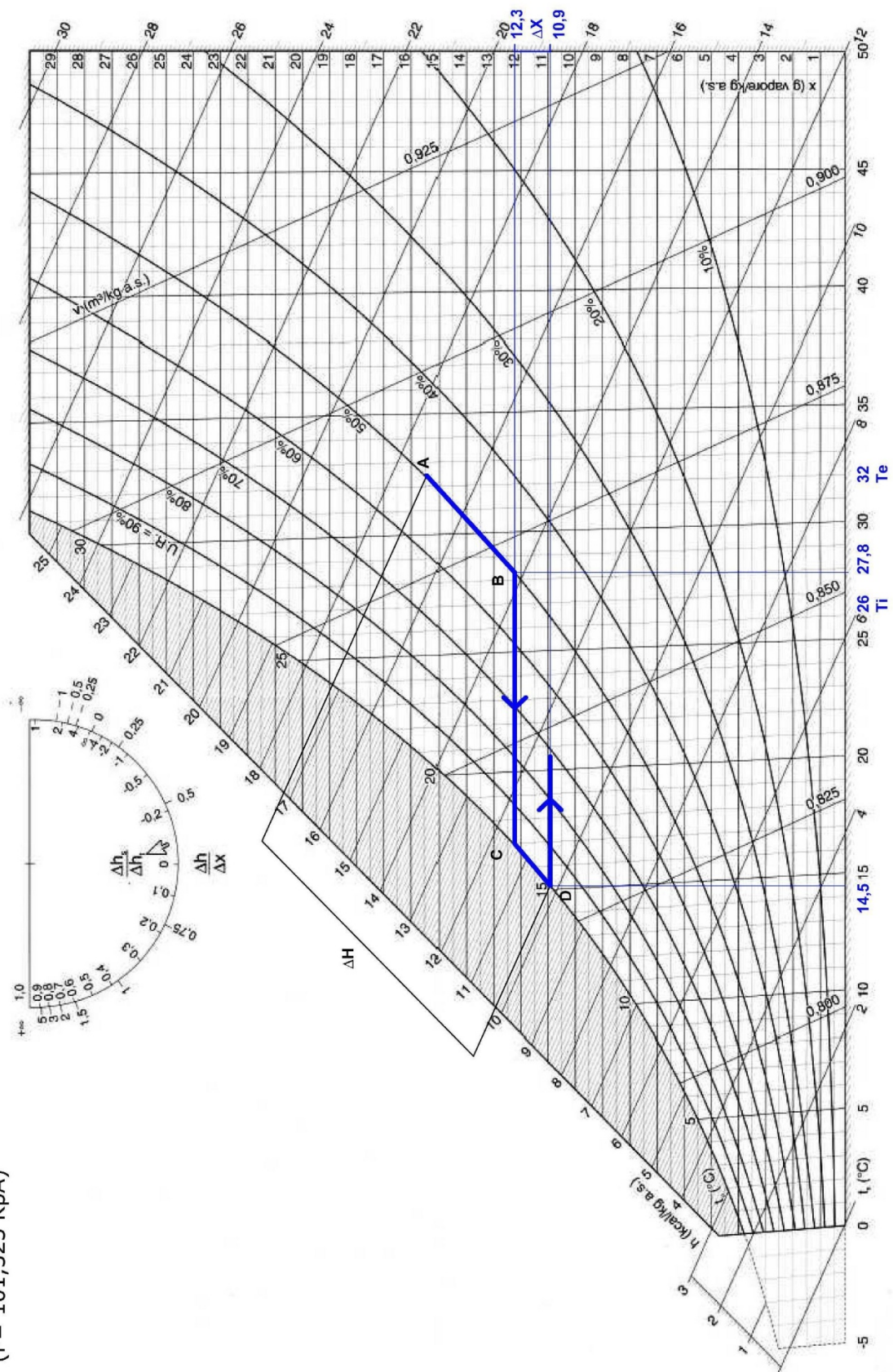


Figura 178. Trattamenti dell'aria primaria nel caso estivo. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

Concludendo, il centro ricreativo necessita di un'unità di trattamento d'aria con le seguenti caratteristiche:

- portata d'aria totale: 7769,29 m³/h
- potenza termica batteria: 19,2 kW
- potenza frigorifera batteria: 14,9 kW

Considerando questi dati è stata scelta una macchina AERMEC serie TN4, questa è un'unità di condizionamento destinata all'impiantistica commerciale ed industriale, per applicazioni in ambienti di medie dimensioni. Questo tipo di UTA si caratterizza per la sua compattezza, la bassa rumorosità e l'elevata pressione statica utile. Inoltre, scegliendo questo tipo di unità è possibile configurare ciascun modello in modo tale da soddisfare le più specifiche esigenze impiantistiche. L'unità scelta avrà quindi i seguenti parametri:

- portata d'aria massima: 8000 m³/h
- potenzialità termica: 61,5 kW
- potenzialità frigorifera: 26,2 kW

Dimensione dell'unità: A) Altezza=1497 mm; B) Larghezza=1659 mm; C) Profondità=765 mm

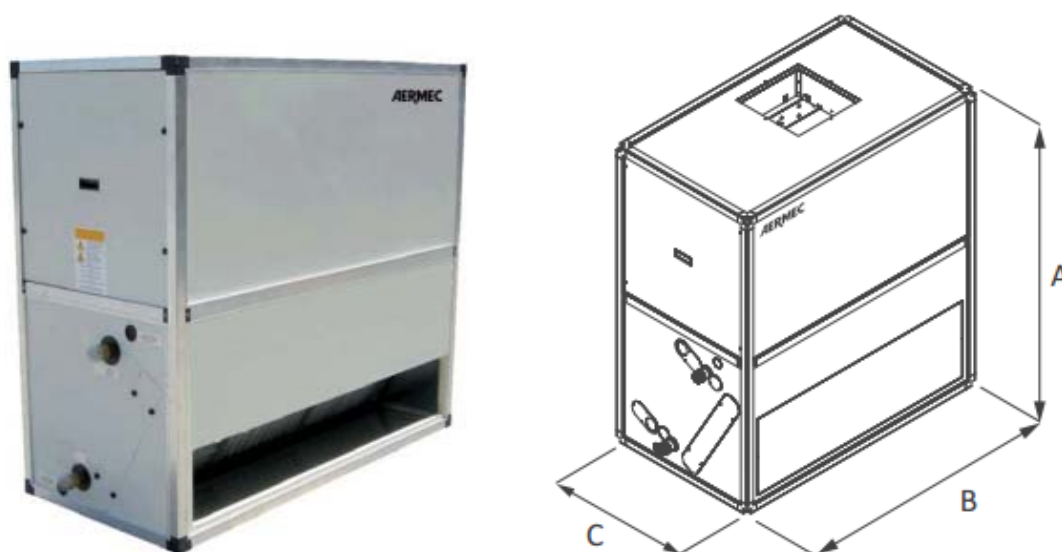


Figura 179. UTA tipo AERMEC TN4. Fonte: www.aermec.com

8.6 Fotovoltaico

Per soddisfare la richiesta di energia elettrica dell'intero complesso IN-ARCH, si è pensato di utilizzare un impianto fotovoltaico. Questo tipo di sistema spesso ha una funzione integrativa rispetto ad altri impianti di approvvigionamento elettrico, cosicché la definizione delle sue caratteristiche funzionali e prestazionali non è univoca, ma dipende dall'interazione di diversi fattori (tecnici, economici, ecc).

In questa sede si utilizzeranno strumenti e metodologie utili per un dimensionamento di massima degli impianti. Naturalmente, non è possibile prescindere da una consulenza di tipo specialistico, tuttavia di seguito vengono indicati i passi da intraprendere per portare a compimento un primo livello generale di progettazione, premessa indispensabile per la progettazione di dettaglio, che deve, di norma, essere affidata a professionisti qualificati e dotati di esperienze significative nel settore.

Le diverse fasi su cui devono essere articolate le operazioni di pianificazione per la realizzazione di un impianto fotovoltaico consistono nei seguenti punti:

- analisi del fabbisogno dell'utenza servita;
- analisi della risorsa solare;
- dimensionamento del generatore;
- dimensionamento delle batterie;
- dimensionamento dell'inverter;
- progetto di dettaglio dell'impianto elettrico.

In questa trattazione saranno tuttavia analizzati soltanto il fabbisogno dell'utenza del centro ricreativo e verrà effettuata una stima dell'energia prodotta dall'impianto.

E' necessario, innanzitutto, determinare con la maggiore esattezza possibile la natura e l'entità dei fabbisogni che si andranno a soddisfare. Per questo tipo di sistema si è preferito fare una stima del consumo totale del nostro oggetto di studio ovvero solo del centro ricreativo in-arch. Presumibilmente i pannelli fotovoltaici produrranno più energia di quella necessaria al centro ricreativo, date le sue ridotte dimensioni, è stata effettuata un'analisi di quanta energia servisse effettivamente al centro per il soddisfacimento del fabbisogno. Pertanto sono stati posizionati una serie di pannelli fotovoltaici sulla copertura del nuovo parcheggio automatizzato, i quali possono coprire il fabbisogno di energia elettrica del centro IN-ARCH, oltre che parte del consumo di energia elettrica prodotto dalle nuove funzioni di questo progetto.

La stima del fabbisogno di energia calcolata tramite il programma Cened+ è stata la seguente:

Centro ricreativo: 20914 kWh/anno

Come è facile intuire, nella procedura di dimensionamento e progettazione dell'impianto fotovoltaico, è necessario poter analizzare in via preliminare le capacità produttive delle differenti configurazioni possibili. Ciò significa eseguire delle stime riguardanti la produzione di elettricità ottenibile, allo scopo di verificare l'attitudine del sistema a soddisfare in tutto o in parte l'utenza che andrà a servire.

Una volta determinati i parametri di massima ipotizzati per l'impianto fotovoltaico in analisi, si è eseguita una stima delle sue prestazioni, ovvero dell'energia annua producibile (E_{pv}):

$$E_{pv} = \eta_{pv} \cdot A_{pv} \cdot H \text{ [kWh/anno]}$$

dove:

E_{pv} = energia annua producibile [kWh/anno]

η_{pv} = efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico [adm]

A_{pv} = area occupata dai pannelli fotovoltaici [m^2]

H = irradiazione solare annua incidente sulla superficie [Wh/m^2 anno]

Si ha quindi che l'energia annua producibile $E_{pv} = 0,1 \text{ kWh/anno} \cdot 204,8 \text{ m}^2 \cdot 1383 \text{ Wh/m}^2\text{anno} = 28323 \text{ kWh/anno}$

Questo valore risulta tuttavia essere una stima molto approssimativa.

Si è quindi optato per l'utilizzo di un simulatore permette, inserendo alcuni dati sull'installazione dell'impianto, di effettuare un veloce calcolo della produzione media che l'impianto fotovoltaico potrà avere negli anni. Si può affermare che queste siano stime verosimili, poiché basate su dati e tabelle istituzionali contenenti i dati di irraggiamento e di produttività per tecnologia di modulo fotovoltaico.

Il simulatore utilizzato si chiama PVGIS, esso contiene una mappa interattiva ed è curato dall' ESTI, European Solar Test Installation, laboratorio e centro di ricerca della Commissione Europea sul fotovoltaico.

Il software PVGIS restituisce cifre di produzione da fotovoltaico minori rispetto ai reali dati di produzione registrati empiricamente. Il simulatore è quindi un buon indicatore dell'energia "minima" producibile dagli impianti fotovoltaici. Per il calcolo della produzione da fotovoltaico il simulatore attinge da un database di irradiazione e utilizza i seguenti dati di input:

- località di installazione;
- tipo di modulo fotovoltaico (Silicio cristallino, CIS, CdTe, film sottile). Ricordiamo che il film sottile, per esempio, è una tecnologia che ha bisogno di superfici maggiori, ma è in grado di produrre anche in condizioni di luce diffusa, di scarsa luminosità o con orientamento e inclinazione dei moduli non ottimali);
- potenza dell'impianto installato o da installare;
- perdite di sistema stimate, in genere in totale attorno al 14%
- tipo di installazione (a terra o su edificio);
- inclinazione (in gradi) e orientamento (nord-sud) dei pannelli fotovoltaici.

In sostanza è possibile fare un calcolo della produzione del fotovoltaico da installare. Con queste stime minime di produzione sarà possibile calcolare poi il

proprio piano di ammortamento in relazione al tipo di incentivo ed al tipo di utilizzo dell'energia prodotta.

Prima di immettere i dati nel software si è calcolata la potenza nominale dell'impianto in base alla quantità di pannelli fotovoltaici ipotizzata. La potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) dell'impianto fotovoltaico è la potenza elettrica dell'impianto ed è pari alla somma delle singole potenze nominali di ogni singolo pannello fotovoltaico facente parte integrante di un unico impianto, misurate alle condizioni standard (temperatura pari a 25° C. e radiazione pari a 1.000 W/m²). Per ricavare questo dato è necessario moltiplicare il numero di pannelli da installare, 128, per la potenza di un singolo pannello pari a 240 W. Tale valore di potenza nominale risulta essere pari a 30720 kW.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti una volta inseriti i dati all'interno del simulatore:

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 45°27'55" North, 9°11'11" East, Elevation: 132 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 30.7 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 13.5% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 27.7%

Fixed system: Inclination=36 deg., orientation=-2 deg. (optimum)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	61.30	1900	2.50	77.6
Feb	67.30	1880	2.82	79.0
Mar	94.90	2940	4.18	129
Apr	101.00	3030	4.57	137
May	102.00	3180	4.75	147
Jun	119.00	3570	5.60	168
Jul	124.00	3850	5.92	183
Aug	116.00	3600	5.55	172
Sep	101.00	3030	4.68	140
Oct	74.00	2300	3.28	102
Nov	57.80	1730	2.44	73.3
Dec	49.40	1530	2.02	62.7
Year	89.20	2710	4.03	123
Total for year		32600		1470

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Figura 180. Estratto dei risultati riguardanti la stima dell'energia producibile dall'impianto fotovoltaico. Fonte: PVGIS

Come si evince dalla tabella, il simulatore elabora i dati riguardanti l'energia prodotta dall'impianto mese per mese, per un totale di 32600 kWh in un anno. Confrontando questo dato con il fabbisogno elettrico del centro ricreativo calcolato precedentemente (20914 kWh/anno), si può affermare che l'impianto fotovoltaico in questione, potrà coprire tutto il consumo di energia elettrica nell'arco di un anno, per il centro in-arch. In conclusione è da sottolineare che il fabbisogno del centro ricreativo necessita del 64% circa dell'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici. Il rimanente 36% sarà utilizzato per le altre funzioni al di sotto delle arcate.

Riassumendo, i pannelli installati sulla copertura dell'edificio parcheggio sono 128 e sono posizionati in modo da non ombreggiarsi vicendevolmente, come mostrato nella figura seguente.

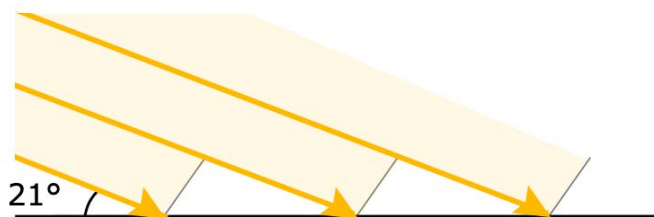


Figura 181. Schema del posizionamento dei pannelli fotovoltaici. Fonte: elaborazione grafica dell'autore

8.7 Certificazione energetica

Risparmio energetico e tutela del clima sono nuove ed importanti sfide da affrontare e per le quali dobbiamo saper rispondere in modo veloce ed appropriato. È evidente come il futuro del settore dell'edilizia sia strettamente legato alla sua capacità di innovarsi, procedendo in sinergia con l'evoluzione in atto in materia di efficienza energetica. Il cambiamento di rotta nel settore dell'edilizia a seguito delle evidenti criticità che esso determina è un elemento chiave se si vuole davvero perseguire quel duplice obiettivo strategico di abbattimento dei consumi energetici e delle emissioni di gas. La prospettiva migliore per gli anni che verranno è quella di orientare le nostre scelte verso forme di energia alternative il più possibile rinnovabili senza per questo mai dimenticare che il risparmio energetico è la prima fonte rinnovabile. In questo contesto la certificazione energetica può dunque diventare lo strumento per orientare queste azioni volte al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, capace davvero di rendere trasparente la qualità energetica degli immobili e in grado di orientare in modo più consapevole la scelta degli stessi da parte dei potenziali utenti.

La nuova normativa italiana prevede una decisa riduzione dei consumi energetici nei nuovi edifici. Il Dlgs 311/2006 stabilisce ad esempio che i consumi per il fabbisogno invernali siano progressivamente decrescenti, raggiungendo nel 2010 valori quasi dimezzati rispetto a quelli richiesti per le nuove costruzioni nel 2005. Qualche regione, come la Lombardia, ha deciso di anticipare al 2008 questi nuovi valori. Nei prossimi anni, l'attività di certificazione vedrà una forte espansione anche perché essa rappresenta un prerequisito necessario per ottenere incentivi pubblici legati alle fonti rinnovabili e all'efficienza energetica.

In questo lavoro di tesi, giunti alla progettazione e al dimensionamento degli impianti, è stato calcolato il fabbisogno di energia primaria ed energia termica del centro ricreativo IN-ACH, tramite il programma Cened+.

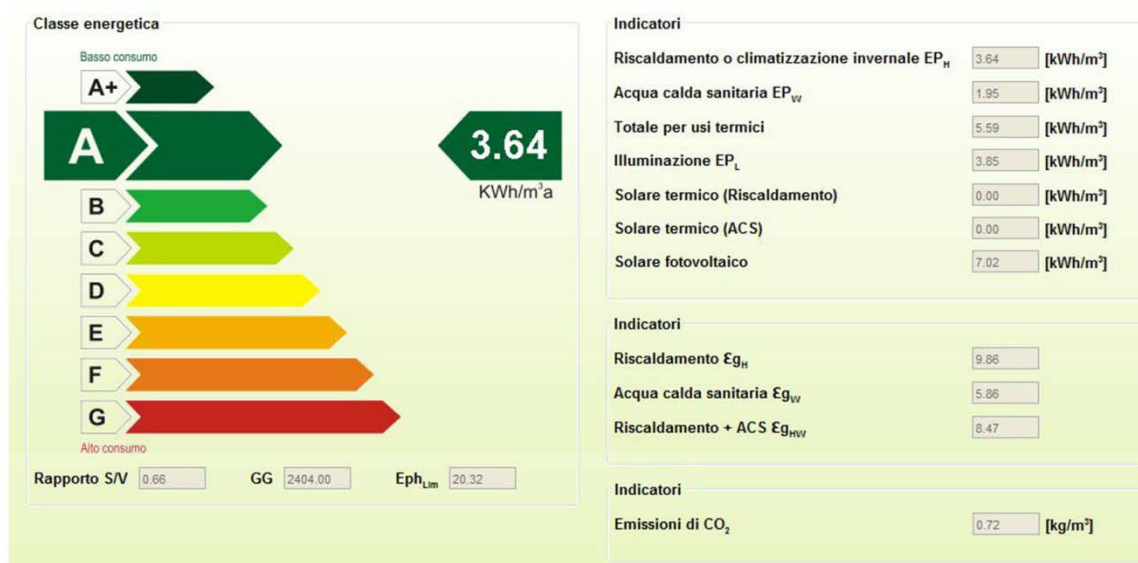


Figura 182. Consumo di energia primaria. Fonte: programma Cened+

Come si vede in figura il consumo di energia primaria del centro ricreativo è pari a 3,64 kWh/m²a, l'edificio risulta quindi in classe A.

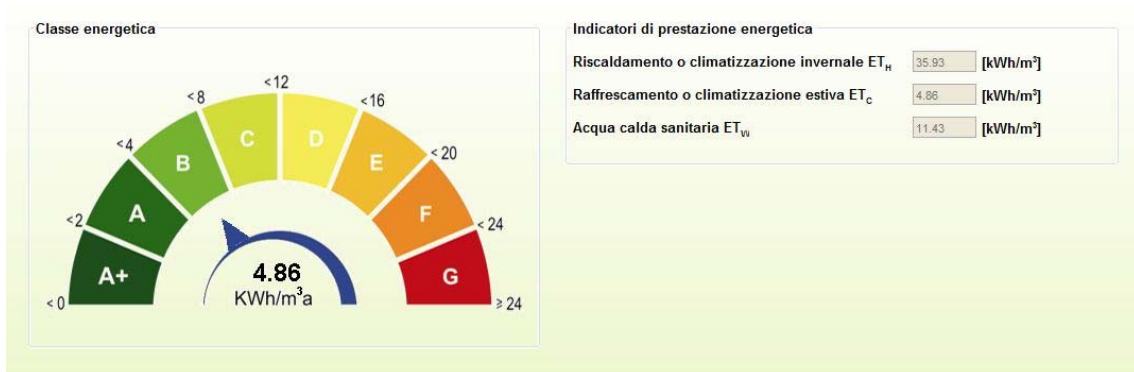


Figura 183. Consumo di energia termica. Fonte: programma Cened+

Per quanto riguarda invece l'energia termica, il consumo è pari a 4,86 kWh/m²a, l'edificio si presenta quindi in classe B.

8.8 Recupero delle acque meteoriche

Le acque meteoriche rappresentano una fonte rinnovabile e locale adatta, mediante trattamenti semplici ed economici, a utilizzi che richiedono acque di minor pregio. In generale, gli impieghi che si prestano al riutilizzo delle acque piovane riguardano usi esterni agli edifici (irrigazione, lavaggio aree esterne, antincendio) e usi interni (alimentazione cassette risciacquo wc). L'intervento più diffuso e semplice è il recupero delle acque meteoriche dei tetti, per il cui trattamento è sufficiente, nella maggior parte dei casi, un'efficace azione filtrante.

I vantaggi derivanti dall'installazione di impianti di raccolta dell'acqua piovana per uso individuale, oltre che a livello privato, si riflettono positivamente anche nella sfera pubblica:

- si evita il ripetersi di sovraccarichi della rete fognaria in caso di precipitazioni di forte intensità;
- aumenta l'efficienza dei depuratori (nei casi dove le reti fognarie bianca e nera non siano separate), sottraendo quote di liquido che, nel diluire i quantitativi di liquami da trattare, ridurrebbero l'efficacia della fase biologica di depurazione;
- si trattiene o disperde localmente l'eccesso d'acqua piovana che non viene assorbita dal terreno a livello urbano, risparmiando i potenziamenti delle reti pubbliche di raccolta.

Un impianto per il riutilizzo dell'acqua piovana è costituito dai seguenti elementi:

- sistema di raccolta: composto da superficie di raccolta, converse, canali di gronda, bocchettoni, pluviali, pozzetti di drenaggio, caditoie, tubazioni di raccordo;
- filtro, ha la funzione di trattenere il materiale che, sedimentando nel serbatoio, porterebbe a un deterioramento della qualità dell'acqua e al rischio di intasamento delle condotte e del sistema di pompaggio;
- serbatoio di accumulo con scarico di troppo pieno;
- pompa;
- sistema di distribuzione.

Il sistema tipo è questo:

1. l'acqua viene raccolta dallo scarico delle grondaie, direttamente o tramite una pompa immersa nel pozzetto di raccolta, e convogliata verso un filtro che ha la funzione di separare l'acqua dalla sporcizia più grossolana;
2. l'acqua è incanalata all'interno del serbatoio tramite una tubazione la cui parte finale è rivolta verso l'alto, allo scopo di non smuovere gli eventuali sedimenti sul fondo del serbatoio;
3. l'aspirazione successiva dell'acqua all'interno del serbatoio avviene a qualche centimetro sotto il livello dell'acqua tramite un tubo flessibile con galleggiante, posto all'interno del serbatoio in modo da pescare l'acqua più pulita;

4. una centralina elettronica controlla una pompa di mandata e l'intero sistema. La centralina ha inoltre il compito di comandare l'afflusso dell'acqua potabile quando si esaurisce la riserva d'acqua piovana nel serbatoio.

Per il dimensionamento del sistema è necessario scegliere il grado di copertura desiderato, se intermittente, parziale o completo. Il volume d'acqua necessario dipende, quindi, dalla tipologia di utilizzo, e dagli impieghi delle acque recuperate. Una stima dei volumi recuperabili può essere fatta considerando la superficie dei tetti e il valore di pioggia media annuo.

Per il predimensionamento della vasca di accumulo dell'acqua piovana di calcola la resa annuale della pioggia R in litri come:

$$R = S \cdot V_p \cdot V_t$$

Dove

S è la superficie del tetto in m², considerando il tetto verde del centro sportivo è pari a 333,45 m², mentre quella della tribuna vale 472,8 mq.

V_p è la quantità di pioggia annuale in litri/m², pari a 920 litri/m².

V_t è il valore di copertura che per i tetti verdi è pari a 0,4 mentre per le coperture inclinate vale 0,8

Risulta, quindi, la resa annuale di pioggia pari a 470101,6 litri

Il volume di accumulo si ottiene:

$$V = R \cdot P_{sm} / GA$$

Con

P_{sm} il periodo secco medio, ovvero il numero di giorni durante i quali si può verificare l'assenza di precipitazione, assunto pari a 21 giorni

GA i giorni dell'anno

Si ottiene un volume di accumulo di 27047 litri. Si sceglierà quindi un serbatoio con una capacità di almeno 30000 litri.



Figura 184. Schema del recupero delle acque meteoriche. Fonte: www.temporaryin.com.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V., *Analisi e proposte per la periferia di Milano: il caso di Affori e della Martesana*, a cura di Associazione degli interessi metropolitani, AIM ed, Milano, 1991
- A.A.V.V., *Edilizia per lo sport: palestre, piscine, palasport, stadi, complessi polisportivi, centri fitness, impianti all'aperto, impianti specialistici*, a cura di Giovanni Brandizzi, Enrico Carbone, UTET ed, Torino, 2004
- A.A.V.V., *Greco: un borgo, un comune, un quartiere*, edito sotto l'egida del Comitato promotore per lo sviluppo di Greco, Milano, 1970
- N. Aste, *Il fotovoltaico in architettura: l'integrazione dei sistemi per la generazione di elettricità solare: nuovo conto energia: schede tecniche di componenti e sistemi normativi*, Sistemi editoriali: Esselibri-Simone editore, 2008
- G. C. Bascapé P. Mezzanotte, *Milano nell'arte e nella storia*, a cura di P. Mezzanotte, Carlo Bestretti ed, Milano - Roma, 1948
- G. Beltrame T. Celona, *I Navigli Milanesi*, La Silvana ed, Milano, 1982
- E. Bertarelli A. Monti, *Tre secoli di vita milanese 1630 - 1875*, Hoepli ed, Milano, 1927
- L. Biasi, *Il sistema dei Navigli a Milano. Funzioni Tipi Morfologia*, in Quaderni del Dipartimento di progettazione dell'architettura Politecnico di Milano, n° 6
- E. Brichetti, *Terre di confine: i borghi milanesi di Turro Gorla Precotto Greco Crescenzago*, Comune di Milano, Consiglio di Zona 2, Milano, 1994
- E. Brichetti, *Martesana: Storia, iconografia, percorsi tematici del naviglio piccolo*, Comune di Milano, Consiglio di Zona 2, Milano, 1984
- G. Bruschetti, *Storia dei progetti e delle opere di navigazione interna del milanese*, Bernardoni ed, Milano, 1821
- F. M. Butera, *Architettura e ambiente: manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etas libri editore, 1995
- V. Erba, *Strumenti urbanistici per interventi di qualità*, F. Angeli ed, Milano, 2001
- A. Gottfried, *Ergotecnica edile. Sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di casseratura, macchinari e automazione dei cantieri*, Progetto Leonardo Bologna editore, 1995
- M. Imperadori, *Sandwich architecture: progettare e costruire con i pannelli sandwich poliuretanic*, Il Sole 24 Ore, 2012

- M. Imperadori, *Costruire sul costruito: tecnologie leggere nel recupero edilizio*, Carocci, 2001
- M. Muscogiuri, *Architettura della Biblioteca: linee guida di programmazione e progettazione*, Sylvestre Bonnard editrice, Milano, 2004
- E. Neufert, *Enciclopedia pratica per progettare e costruire: manuale a uso di progettisti, costruttori, docenti e studenti: fondamenti, norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare e distribuire a misura d'uomo*, a cura di Adriana Baglioni e Arie Gottfried, con la collaborazione di Luisa Collina e Cecilia Locatelli, U. Hoepli ed, Milano, 1999
- R. Nova, *Fondamenti di meccanica delle terre*, Mc Graw-Hill editore, 2002
- R. Nova, *Meccanica delle costruzione geotecniche*, Città studi Edizione, 2008
- C. Osnago, *Ferrovie e stazioni*, in AA.VV, *Milano Tecnica, dal 1859 al 1884*, Hoepli ed, Milano, 1885, Ristampa Edizioni L'Archivolto, Milano, 1988
- M. Vaudetti, *Edilizia per la cultura: biblioteche, musei*, UTET editore, Torino, 2005
- D. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli editore, 2003

RIFERIMENTI NORMATIVI

- DPR 24/07/1996 n. 503 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici"
- DM 14/06/1989 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"
- DM 18/03/96 "Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi"
- DM 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro"
- DM 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI 10339: "Impianti aeraulici a fini di benessere"
- UNI 10349: "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici"
- UNI/TS 11300-1: "Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"
- UNI/TS 11300-2: "Prestazione energetica degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"
- UNI 9182: "Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - criteri di progettazione, collaudo e gestione"

SITOGRAFIA

- <http://www.aermec.it/>
- <http://blog.urbanfile.org/blogs/2013/04/05/la-casa-palafitta/>
- <http://www.cened.it/>
- <https://www.comune.milano.it/>
- <http://www.fibradilegno.com/>
- <https://www.imviadukt.ch/>
- <http://www.italpannelli.it/>
- <http://www.knauf.it/>
- <https://www.leviaductdesartes.com/>
- <http://www.magazziniraccordati.blogspot.it/>
- http://www.milanofree.it/milano/monumenti/cimitero_di_greco.html
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- <http://www.schueco.com/web/it/>
- <http://www.tastingtheworld.it/casa-palafitta-milano-figini/3185/>
- <http://www.tastingtheworld.it/case-igloo-milano-via-lepanto/3166/>
- <http://www.velux.it/>
- <http://www.woehr.de/en/home.html/>

INDICE DELLE IMMAGINI

Figura 1. Tavole Progetto vincitore "Mura doppio bivio Turro". Fonte: RFI.....	4
Figura 2. I fornici prima della bonifica di RFI. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 07, Rilievo Fotografico	5
Figura 3. Variante al PRG Zona Speciale Z19 "Greco Conti". Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 01, Documentazione preliminare della Progettazione.....	6
Figura 4. La Cascina Conti prima dell'inizio dei lavori di recupero. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 07, Rilievo Fotografico	7
Figura 5. Il P.I.I. Via Conti e Via Rimembranze di Greco. Render del Borgo cascina Conti e il campo sportivo. Fonte: www.comune.milano.it	8
Figura 6. Veduta della chiesa di San Martino ai primi del '900. Fonte: Archivio Curia Arcivescoile, Arti graf. Milanese. Milano 1930	12
Figura 7. Veduta della chiesa di San Martino oggi. Fonte: foto dell'autore	12
Figura 8. Via 24 maggio, oggi via De Marchi ai primi del '900. Fonte: www.vecchiamilano.wordpress.com	12
Figura 9. Viale delle rimembranze ai primi del '900. Fonte: www.vecchiamilano.wordpress.com	12
Figura 10. Ingrandimenti del Comune di Milano a partire dall'unità d'Italia, stralcio della tavola 2.01, <i>Inquadramento storico</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	13
Figura 11. Il Ponte delle Gabelle. Fonte: foto dell'autore	14
Figura 12. La Cassina de' Pomm. Fonte: foto di Ivano Confortini.....	14
Figura 13. La pista ciclo-pedonale lungo la Martesana vista dall'area di progetto e Vista della pista ciclo-pedonale da via delle Rimembranze di Greco. Fonte: foto dell'autore.....	15
Figura 14. Piano di riordino delle ferrovie di Milano 1906. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 3.6, Cartografia Storica	16
Figura 15. La Stazione Centrale nel 1929. Fonte: www.fsnews.it	16
Figura 16. La Stazione Centrale oggi. Fonte: Foto di Stefano Gusmeroli.	16
Figura 17. Inquadramento urbano dell'intervento, la rete ferroviaria in ambito urbano. Fonte: Bando del Concorso di progettazione Arcate di greco, Allegato 06, Elaborati grafici.....	18

Figura 18. I 15 obiettivi strategici. Fonte: rielaborazione dell'autore a partire dal DdP.....	21
Figura 19. Strategie alla grande scala: Epicentri, Parchi Periurbani e Raggi Verdi. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 114-115.....	22
Figura 20. Schema generale del progetto dei Raggi Verdi. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 124	23
Figura 21. Il Raggio Verde 1. Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 125.....	23
Figura 22. Stralcio della tavola 2.03, <i>Il Raggio Verde n.1</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	24
Figura 23. Il <i>Filo Rosso e i Raggi Ciclabili</i> e il <i>Fiume di Milano</i> . Fonte: DdP del PGT di Milano, pag 236 e 306	25
Figura 24. Stralcio della tavola 2.04 <i>Individuazione dell'area</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	26
Figura 25. Stralcio della tavola 2.05, <i>Analisi aree verdi</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	28
Figura 26. Stralcio della tavola 2.06, <i>Analisi viabilità</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	29
Figura 27. Stralcio della tavola 2.07, <i>Analisi funzioni</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	30
Figura 28. Stralcio della tavola 2.08, <i>Pieni e vuoti</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	31
Figura 29. Stralcio della tavola 2.09, <i>Analisi tipologie edilizie e tessuto urbano</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	32
Figura 30. Stralcio della tavola 2.10, <i>Analisi altezze degli edifici</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	33
Figura 31. Stralcio della tavola 2.11, <i>Analisi soglie storiche costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	34
Figura 32. Chiesa di San Martino in Piazza Greco. Fonte: foto dell'autore	35
Figura 33. Stazione Centrale di Milano. Fonte: www.wikipedia.it	35
Figura 34. La Casa Palafitta di Luigi Figini. Fonte: www.lombardiabeniculturali.it 36	
Figura 35. Case Igloo del quartiere Maggiolina. Fonte: www.milano.corriere.it ...	36
Figura 36. Cimitero di Greco a Milano. Fonte: www.maps.google.it	37
Figura 37. Università Bicocca di Milano. Fonte: www.mib.infn.it	37

Figura 38. Grafico popolazione italiana residente in Zona 2, stralcio della tavola 2.13, <i>Analisi demografiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	37
Figura 39. Grafico popolazione straniera in Zona 2, stralcio della tavola 2.13, <i>Analisi demografiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	38
Figura 40. Grafico temperatura media mensile del sito di progetto a confronto con i dati della norma UNI 10349, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	38
Figura 41. Grafico umidità relativa del sito di progetto, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	39
Figura 42. Grafico piovosità del sito di progetto, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	39
Figura 43. Grafico velocità media mensile del vento, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	40
Figura 44. Irradiazione media mensile diretta, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	40
Figura 45. Irradiazione media mensile diffusa, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	41
Figura 46. Irradiazione media mensile totale, stralcio della tavola 2.14, <i>Analisi climatiche</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	41
Figura 47. Panoramica degli edifici a sud dell'area di progetto. Fonte: foto dell'autore.....	43
Figura 48. Viste dell'area di progetto: arcate anni '30 e nuovo viadotto. Fonte: foto dell'autore.....	44
Figura 49. Estratto tavola 2.03, <i>Sezioni</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	45
Figura 50. Nuovo viadotto Milano Centrale-Malpensa. Fonte: foto dell'autore	46
Figura 51. Risultati questionari: dal seguente grafico si rileva che le percentuali maggiori sono la mancanza di parcheggi e del verde pubblico. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.....	51
Figura 52. Risultati questionari: dal seguente grafico si rileva che la percentuale maggiore è la mancanza di locali per il divertimento. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.....	52
Figura 53. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, prima e dopo l'intervento. Fonte: www.dunatelieralautre.org	53
Figura 54. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, interni. Fonte: www.dunatelieralautre.org	54

Figura 55. Les Arches, Issy Les Moulineaux, Parigi, foto del progetto in fase costruttiva. Fonte: www.dunatelieralautre.org	54
Figura 56. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, prima e dopo l'intervento di recupero. Fonte: www.im-viadukt.ch	55
Figura 57. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, foto esterno diurna e serale. Fonte: www.im-viadukt.ch	56
Figura 58. Im Viadukt, EM2N, Zurigo, foto lucernai a cupola e interno. Fonte: www.im-viadukt.ch	56
Figura 59. Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, veduta d'insieme del viadotto. Fonte: www.leviaducdesarts.com	57
Figura 60. Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, prospetto di un'arcata e vista dall'alto del viadotto con camminamento. Fonte: www.leviaducdesarts.com	57
Figura 61. Viaduc des Arts, Patrick Berger, Parigi, Arcate di giorno e illuminazione notturna. Fonte: www.leviaducdesarts.com	58
Figura 62. Schizzi progettuali dello studio morfologico del quartiere: bidirezionalità degli assi che percorrono l'area d'intervento, che ha determinato il disegno del verde e dei percorsi. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	60
Figura 63. Schizzo progettuale del nuovo fronte strada: la parte superiore della città con spazi commerciali è quella più vissuta e viene riproposta. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.	61
Figura 64. Schizzo progettuale elementi da inserire al di sotto delle arcate. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.	61
Figura 65. Schema funzionamento del parcheggio automatizzato. Fonte: scheda tecnica del parcheggio automatizzato tipo <i>Multiparker 740</i>	62
Figura 66. Estratto della tavola 4.02, <i>Conceptplan</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	63
Figura 67. Layer nuove attività, stralcio della tavola 5.01, <i>Masterplan e layers</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	66
Figura 68. Layer spazi pubblici, stralcio della tavola 5.01, <i>Masterplan e layers</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	67
Figura 69. Layer viabilità e parcheggi, stralcio della tavola 5.01, <i>Masterplan e layers</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	68
Figura 70. Layer verde e acqua, stralcio della tavola 5.01, <i>Masterplan e layers</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	69
Figura 71. Sezioni ambientali e schizzi progettuali, stralcio della tavola 5.03, <i>Sezioni ambientali -schizzi progettuali</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore. ...	70

- Figura 72.** Place des Droits de l'homme, B+C ARCHITECTS, Tremblay en France, Francia. Fonte: www.europaconcorsi.com 71
- Figura 73.** Koenig Heinrich Averdunk Platz, Agence Ter, Duisberg, Germania. Fonte: www.europaconcorsi.com 71
- Figura 74.** High Line, James Corner Field Operations, Diller Scofidio+Renfro, New York City. Fonte: www.europaconcorsi.com 71
- Figura 75.** Preureditve nabrezij in mostovi na Ljubljani, Boris Podrecca, ATELIER ARHITEKTI, Ljubljana, Slovenia. Fonte: www.europaconcorsi.com 72
- Figura 76.** Masterplan quota ferrovia, stralcio della tavola 5.01, *Masterplan e layers*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 73
- Figura 77.** Masterplan quota zero, stralcio della tavola 5.02, *Masterplan e nuove funzioni*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 74
- Figura 78.** L'uso della rete nel progetto di Dubosc e Landonsky *Les Arches* a Issy-les-Moulineaux in Francia. Fonte: www.blogarchiphot.com 75
- Figura 79.** Vista della piazza tra i due tracciati ferroviari con i passaggi pedonali, tavola 5.15, *Viste*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 76
- Figura 80.** Stralcio della tavola 5.12 a, *Prospetto nord*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 77
- Figura 81.** Stralcio della tavola 5.13 a, *Prospetto sud*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 77
- Figura 82.** Schema funzionale-spaziale del centro aggregativo, stralcio della tavola 5.04, *Organizzazione funzionale centro IN-ARCH*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 78
- Figura 83.** Due immagini che rimandano agli interni del centro polifunzionale. Nella prima l'area dedicata ai bimbi della biblioteca *BLA* a Fiorano Modenese (Areaprogetti). Fonte: www.europaconcorsi.com 79
- Figura 84.** La *Medateca* a Meda (Aleterstudio). Fonte: www.europaconcorsi.com 79
- Figura 85.** Pianta piano terra del centro ricreativo, stralcio della 5.05, *Pianta piano terra centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 80
- Figura 86.** Pianta piano primo del centro ricreativo, stralcio della 5.06, *Pianta piano primo centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 80
- Figura 87.** Sezione longitudinale B-B' del centro ricreativo, stralcio della tavola 5.14, *Sezioni centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 81
- Figura 88.** Sezione trasversale A-A' del centro ricreativo, stralcio della tavola 5.14, *Sezioni centro ricreativo*. Fonte: elaborazione grafica dell'autore 81

Figura 89. Vista del centro ricreativo IN-ARCH, tavola 5.15 a, <i>Viste</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	82
Figura 90. Vista del centro ricreativo IN-ARCH lato sud, tavola 5.15 b, <i>Viste</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	82
Figura 91. Schema di studio della flessibilità costruttiva, stralcio della tavola 5.08, <i>Organizzazione spaziale - funzionale moduli</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	83
Figura 92. Esploso assonometrico e schema funzionale, stralcio della tavola 5.08, <i>Organizzazione spaziale - funzionale moduli</i> . Fonte: Elaborazione grafica dell'autore.	83
Figura 93. Nell'immagine gli interni degli Atelier progettati da Dubosc e Landowsky. Fonte: www.blogarchiphot.com	84
Figura 94. Il fab-lab di Barcellona. Fonte: www.fablabbcn.org	84
Figura 95. Interni del ristorante <i>Im Viadukt</i> a Zurigo. Fonte: www.zuerich.com..	85
Figura 96. Vista della promenade commerciale lungo le arcate storiche, tavola 5.15 c, <i>Viste</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	86
Figura 97. Accessibilità dei servizi igienici. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	88
Figura 98. Mappatura delle arcate a Milano., stralcio della tavola 5.16, <i>Mappatura delle arcate a Milano</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	89
Figura 99. I magazzini Raccordati di via Sammartini durante l'evento di giugno 2013. Fonte: www.magazziniraccordati.blogspot.it	89
Figura 100. Le arcate di viale Monza-via Pontano prima e dopo l'intervento di riqualificazione, stralcio della tavola 5.16, <i>Mappatura delle arcate</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	90
Figura 101. Le arcate di via Bettoni prima e dopo l'intervento di riqualificazione, stralcio della tavola 5.16, <i>Mappatura delle arcate</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	90
Figura 102. Schizzi progettuali degli edifici di nuova costruzione. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	91
Figura 103. Vista dell'ingresso al centro sportivo, tavola 5.22 a, <i>Viste</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	92
Figura 104. Vista del parcheggio e degli spazi commerciali, tavola 5.22 b, <i>Viste</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	92

Figura 105. La pelle metallica del centro sportivo a Barakado in Spagna (Garmendia arquitectos), usata come riferimento per il rivestimento del parcheggio multipiano. Fonte: www.europaconcorsi.it	93
Figura 106. Vista del parcheggio automatizzato lungo viale Rimembranze di Greco, tavola 5.22 c, Viste. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	93
Figura 107. Prospetto Ovest, stralcio della tavola 5.21, Prospetti. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	94
Figura 108. Prospetto Est, stralcio della tavola 5.21, Prospetti. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	94
Figura 109. Lo stadio <i>Scoring High</i> (Atelier Du Pont), preso come riferimento per l'uso del colore. Fonte: www.europaconcorsi.it	95
Figura 110. Vista della tribuna del nuovo centro sportivo, tavola 5.22 d, Viste. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	95
Figura 111. Prospetto nord, stralcio della tavola 5.20, <i>Prospetti e sezioni</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	95
Figura 112. Prospetto sud, stralcio della tavola 5.20, <i>Prospetti e sezioni</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	95
Figura 113. Sezione a-a', stralcio della tavola 5.20, <i>Prospetti e sezioni</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	96
Figura 114. Schema della viabilità di accesso al nuovo parcheggio. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	96
Figura 115. Pianta piano terra commerciale dell'edificio parcheggio, stralcio della tavola 5.17, <i>Piante centro sportivo e parcheggio</i> . Fonte. Elaborazione grafica dell'autore.....	97
Figura 116. Pianta del centro sportivo e tribuna, stralcio della tavola 5.17, <i>Piante centro sportivo e parcheggio</i> . Fonte. Elaborazione grafica dell'autore.	98
Figura 117. Sezioni rappresentative del centro ricreativo con individuazione dei pacchetti tecnologici. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	105
Figura 118. Schema relativo alla fase di scavo. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	113
Figura 119. Schema relativo alla fase di posa dei plinti prefabbricati e posa dei pilastri in acciaio, stralcio della tavola 6.05 a, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	113
Figura 120. Schema relativo alla fase di posa delle travi del solaio a piano terra, stralcio della tavola 6.05 a, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	114

Figura 121. Schema relativo alla fase di riempimento dello scavo con argilla espansa, posa della lamiera grecata e getto collaborante in cls, stralcio della tavola 6.05 a, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	114
Figura 122. Schema della posa delle travi del piano primo, stralcio della tavola 6.05, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	114
Figura 123. Schema della posa di controventi, lamiera grecata e travi curve, stralcio della tavola 6.05, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte : elaborazione grafica dell'autore	115
Figura 124. Schema della posa dei profili scatolari fissati alle travi curve, stralcio della tavola 6.05, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	115
Figura 125. Schema della posa di pannelli sandwich e successiva posa di isolante e pareti interne, stralcio della tavola 6.05, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	116
Figura 126. Vista relativa alla fase di scavo e posa dei plinti di fondazione, stralcio della tavola 6.05 b, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	117
Figura 127. Vista relativa alla posa di travi secondarie e primarie del solaio a piano terra e posa della lamiera grecata, stralcio della tavola 6.05 b, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore	118
Figura 128. Vista relativa al getto in cls e successiva posa dei profili curvi di copertura, stralcio della tavola 6.05 b, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	118
Figura 129. Vista relativa alla posa dei tubolari e dei pannelli sandwich, stralcio della tavola 6.05 b, <i>Fasi costruttive</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	119
Figura 130. Strategie energetiche, stralcio della tavola 6.06, <i>Schematic design</i> .Fonte: elaborazione grafica dell'autore	120
Figura 131. Stralcio della tavola 6.06, <i>Schematic design</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	122
Figura 132. Stralcio della tavola 6.06, <i>Schematic design</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	122
Figura 133. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 9. Fonte: software Ecotect ..	127
Figura 134. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 12. Fonte: software Ecotect	128
Figura 135. Analisi ombreggiamento 21 marzo ore 17. Fonte: software Ecotect	128
Figura 136. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 9. Fonte: software Ecotect .	129
Figura 137. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 12. Fonte: software Ecotect	129
Figura 138. Analisi ombreggiamento 21 giugno ore 17. Fonte: software Ecotect	130

Figura 139. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 9. Fonte: software Ecotect	130
Figura 140. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 12. Fonte: software Ecotect	131
Figura 141. Analisi ombreggiamento 21 dicembre ore 17. Fonte: software Ecotect	131
Figura 142. Fattore di luce diurna 21 giugno. Fonte: Velux Daylight Visualizer ..	132
Figura 143. Fattore di luce diurna 21 dicembre. Fonte: Velux Daylight Visualizer	132
Figura 144. Vista sala studio 1. Fonte: Velux Daylight Visualizer	133
Figura 145. Illuminanza sala studio 1 - 21 marzo cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	134
Figura 146. Illuminanza sala studio 1 - 21 giugno cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	134
Figura 147. Illuminanza sala studio 1 - 21 dicembre cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	135
Figura 148. Illuminanza sala studio 1 - 21 marzo cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer	135
Figura 149. Illuminanza sala studio 1 - 21 giugno cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer	136
Figura 150. Illuminanza sala studio 1 - 21 dicembre cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer	136
Figura 151. Vista sala studio 2. Fonte: Velux Daylight Visualizer	137
Figura 152. Illuminanza sala studio 2 - 21 marzo cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	137
Figura 153. Illuminanza sala studio 2 - 21 giugno cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	138
Figura 154. Illuminanza sala studio 2 - 21 dicembre cielo coperto. Fonte: Velux Daylight Visualizer	138
Figura 155. Illuminanza sala studio 2 - 21 marzo cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer	139
Figura 156. Illuminanza sala studio 2 - 21 giugno cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualizer	139
Figura 157. Illuminanza sala studio 2 - 21 dicembre cielo sereno. Fonte: Velux Daylight Visualiz	140

Figura 158. 3d strutturale. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	141
Figura 159. Sezione delle arcate anni'30. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	142
Figura 160. Stralcio tridimensionale del viadotto. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	142
Figura 161. Stralcio planimetrico con riferimento alle fondazioni considerate. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	143
Figura 162. Grafico comparativo delle analisi fatte per un terreno sabbioso e limoso argilloso. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	148
Figura 163. Schema statico della trave secondaria, appoggio-appoggio. Fonte: elaborazione grafica dell'autore	164
Figura 164. Schema statico della trave secondaria di copertura: arco a tre cerniere. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	175
Figura 165. Schema statico della trave principale. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	176
Figura 166. Schema statico per il dimensionamento del pilastro. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	186
Figura 167. Forze orizzontali agenti sull'edificio e schema statico per il dimensionamento del controvento. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	188
Figura 168. Reazioni vincolari e azioni interne. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	188
Figura 169. Estratto della tavola 8.01, <i>Schema impianti</i> . Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	192
Figura 170. Fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzione esterna, oggetto orizzontale e oggetto verticale. Fonte: norma UNI TS 11300-1.....	199
Figura 171. Schema riassuntivo della procedura utilizzata per il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	205
Figura 172. Schema del funzionamento della pompa di calore nella fase invernale. Fonte: www.rugiadapoint.it	211
Figura 173. Pompa di calore dimensionata per la climatizzazione dell'edificio. Fonte: www.aermec.com	211
Figura 174. Ventilconvettore utilizzato come terminale dell'impianto di climatizzazione del centro ricreativo. Fonte: www.aermec.com	211
Figura 175. Schema funzionamento U.T.A. per il trattamento dell'aria de. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.	216

Figura 176. Schema funzionamento dei ventilconvettori. Fonte: www.aermec.com	216
Figura 177. Trattamenti dell'aria primaria nel caso invernale. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	219
Figura 178. Trattamenti dell'aria primaria nel caso estivo. Fonte: elaborazione grafica dell'autore.....	222
Figura 179. UTA tipo AERMEC TN4. Fonte: www.aermec.com	223
Figura 180. Estratto dei risultati riguardanti la stima dell'energia producibile dall'impianto fotovoltaico. Fonte: PVGIS	226
Figura 181. Schema del posizionamento dei pannelli fotovoltaici. Fonte:elaborazione grafica dell'autore	227
Figura 182. Consumo di energia primaria. Fonte: programma Cened+	228
Figura 183. Consumo di energia termica. Fonte: programma Cened+	229
Figura 184. Schema del recupero delle acque meteoriche. Fonte: www.temporaryin.or	231

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Analisi FDOM. Fonte: rielaborazione grafica dell'autore.....	50
Tabella 2. Valori limite trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espressi in W/m^2K	104
Tabella 3. Dati relativi alle caratteristiche di un terreno ipotizzato non coesivo ..	143
Tabella 4. Dati relativi alle misure della fondazione esistente, la fonte di questi dati sono gli elaborati grafici dell'azienda RFI.....	144
Tabella 5. Dati relativi ai carichi verticali agenti sulla struttura esistente	144
Tabella 6. Fattori di capacità portante che dipendono dal valore dell'angolo di attrito	144
Tabella 7. Coefficienti correttivi calcolati considerando un valore $H=2$ metri.....	146
Tabella 8. Dati relativi alle caratteristiche di un terreno ipotizzato coesivo	147
Tabella 9. Fattori di capacità portante che dipendono dal valore dell'angolo di attrito	147
Tabella 10. Calcolo azioni permanenti su C.V.1	151
Tabella 11. Calcolo azioni permanenti su P.V.1	152
Tabella 12. Calcolo azioni permanenti su P.V.2.....	153
Tabella 13. Calcolo azioni permanenti su C.O.1	154
Tabella 14. Calcolo azioni permanenti su C.O.1	155
Tabella 15. Calcolo azioni permanenti su P.O.1	156
Tabella 16. Caratteristiche della lamiera grecata collaborante del solaio (tipo <i>SOLAC 75</i>)	157
Tabella 17. Caratteristiche della lamiera grecata del soppalco (tipo <i>SOLAC 75</i>) ..	158
Tabella 18. Azioni variabili(Q): si riportano in tabella le azioni variabili considerate in relazione alla categoria C di cui il centro polifunzionale fa parte.	158
Tabella 19. Azioni del vento: dati, formule e risultati per il calcolo dell'azione del vento.....	159
Tabella 20. Azione del sisma.	160
Tabella 21. Coefficienti γ , i coefficienti sono moltiplicatori dei carichi allo SLU. ..	161
Tabella 22. Coefficienti ψ , i coefficienti di combinazione delle azioni variabili Q.	162

Tabella 23. Soluzioni delle combinazioni di calcolo	163
Tabella 24. Calcoli allo SLE per le travi secondarie di copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 160.....	174
Tabella 25. Calcoli allo SLU per le travi secondarie di copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 160.....	174
Tabella 26. Ricalcolo delle combinazioni di carico allo SLU e allo SLE	174
Tabella 27. Verifica a deformabilità.....	175
Tabella 28. Verifica flessione monoassiale retta.....	175
Tabella 29. Verifica a taglio.	175
Tabella 30. Verifica a deformabilità.....	176
Tabella 31. Verifica a flessione monoassiale retta.	176
Tabella 32. Verifica a taglio (SLU)	176
Tabella 33. Calcoli allo SLE per le travi primarie del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.....	182
Tabella 34. Calcoli allo SLU per le travi primarie del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.....	182
Tabella 35. Verifica a deformabilità per la trave IPE 240.	182
Tabella 36. Verifica a deformabilità per la trave IPE 270.	183
Tabella 37. Verifica a flessione monoassiale retta per la trave primaria del soppalco IPE 270.....	183
Tabella 38. Verifica a taglio per la trave primaria del soppalco IPE 270.	183
Tabella 39. Calcoli allo SLE per le travi primarie della copertura del corridoio: si è scelto un profilo IPE 240.....	184
Tabella 40. Calcoli allo SLU per le travi primarie del corridoio del soppalco: si è scelto un profilo IPE 240.....	184
Tabella 41. Verifica a deformabilità per la trave IPE 300.	185
Tabella 42. Verifica a flessione monoassiale retta per la trave IPE 300.....	185
Tabella 43. Verifica a taglio retta per la trave IPE 300.	185
Tabella 44. Valori di temperatura per il sito di progetto con t_i pari a 20°C per i mesi in cui è previsto il riscaldamento e 26°C per quelli da raffrescare.	195
Tabella 45. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici opache	195

Tabella 46. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso le superfici trasparenti	195
Tabella 47. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno	196
Tabella 48. Coefficiente di dispersione termica per ventilazione naturale	196
Tabella 49. Dispersioni per trasmissione, ventilazione e totali in kWh	197
Tabella 50. Apporti gratuiti interni mese per mese [kWh]	199
Tabella 51. Valori di irradianza solare media mensile. Fonte: norma UNI 10349 202	
Tabella 52. Apporti gratuiti solari in kWh	203
Tabella 53. Apporti gratuiti totali in kWh.	204
Tabella 54. Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti termici.....	206
Tabella 55. Fabbisogno energetico per il climatizzazione invernale.	207
Tabella 56. Calcolo del fattore di utilizzazione delle dispersioni	209
Tabella 57. Fabbisogno energetico per il climatizzazione estiva.....	209
Tabella 58. Tabella riassuntiva per il calcolo della portata d'aria.....	217

RINGRAZIAMENTI

*"Noi vivremo in eterno in quella parte di noi
che abbiamo donato agli altri."*

S. Allende

Stefania

Arrivata a questo punto ci tango a dire grazie...

Un ringraziamento particolare al professor Graziano Salvalai per aver creduto in questo progetto e per la disponibilità dimostrataci nel corso di questi mesi.

Uno speciale ringraziamento al professor Marco Muscogiuri per i suoi preziosi suggerimenti e per la passione che esprime verso questa disciplina.

Grazie ai miei genitori per avermi sostenuto con affetto senza mai essere invadenti.

A mia sorella Viviana, perché lei c'è sempre.

Grazie a Dario, il mio talento, per il sostegno rassicurante che sempre mi dai e per i tanti sorrisi che mi regali.

A Franci e Marta, senza di voi non so come avrei fatto. Grazie per aver rallegrato tante giornate, portando il sole nel bunker e nelle arcate.

A Marti e Maela per avermi accompagnata in questo lungo cammino, per i nostri cafferini, discorsi esistenziali, viaggetti...insieme siamo cambiate e cresciute.

Grazie a tutti i compagni di viaggio (in treno), Fede, Mauro, Richi, Luca, Fabri, Davide... per i bei momenti passati assieme, nonostante Lecco.

Grazie a Bea, amica di sempre e a tutti gli amici che mi sono stati e mi staranno vicini.

Francesca

Come per tante altre cose che ho aspettato con ansia, questo momento l'ho immaginato diverse volte e mi sono sempre chiesta "chissà quando...". Oggi finalmente questo giorno è arrivato, dopo tanti anni di sacrifici, fatiche, gioie, delusioni, ma è arrivato!

Un ringraziamento va sicuramente al nostro relatore, il professor Salvalai, grazie per essere stato disponibile e cordiale durante tutto il lavoro. Grazie anche al professor Muscogiuri, pronto a consigliarci e ad accrescere la nostra curiosità e conoscenza nei confronti dell'architettura.

Per questo lungo lavoro non posso che ringraziare anche le mie due speciali amiche. Stefi e Marta, in tutto questo periodo non ci siamo mai perse d'animo nonostante tutti i momenti di panico e di ansia, ed insieme abbiamo raggiunto questo grande obiettivo. Non potevo affrontare questo lavoro con persone migliori, siete le prime persone che mi viene da ringraziare perché solo noi sappiamo cos'è stato questo lavoro. Quindi grazie per tutto, grazie per quello che mi avete insegnato, grazie per le risate, per la pazienza, per la determinazione con cui siamo riuscite ad affrontare questo lavoro, grazie per essere arrivate fino a qua insieme a me. Ste grazie per avermi rassicurata nei momenti di panico, grazie perché sei sempre stata quella che tirava su il morale e che vedeva il lato positivo, grazie per tutto quello che abbiamo condiviso in questi anni.

Marta grazie per la tua allegria e per tutte le risate che mi hai fatto fare, grazie perché il tuo essere critica mi ha fatto arrivare fino a qui e mi ha migliorata.

Un grazie speciale va sicuramente a chi ha condiviso con me questi anni tanto belli quanto duri, perché avete reso questo lungo percorso indimenticabile. Quindi grazie a tutti voi: Marti, Maela, Fabri, Luca, Davide, Ricki, Fede, Mauro, Paolo.

Grazie mamma e papà, perché avete creduto in me e avete reso possibile tutto questo, grazie per i sacrifici che avete fatto in tutti questi anni, grazie davvero anche se non ve lo dico mai.

Dopo mamma e papà non ci possono essere altro che le mie sorelle Mari e Vale, sempre pronte a prendermi in giro ma anche sempre pronte ad aiutarmi e a starmi vicino nei momenti difficili. Grazie alle mie due stelline, Nino e Drino, perché ogni sorriso parolina abbraccio mi fa dimenticare qualsiasi problema e qualsiasi pensiero.

Grazie a Davide, per te i grazie non sono mai abbastanza, farò il meglio che posso. Voglio dirti grazie perché in tutto questo periodo mi sei sempre stato vicino, mi hai consigliata, consolata, mi hai fatto ridere e mi hai tirato su il morale. Grazie perché in qualsiasi momento sai sempre cosa dirmi, grazie perché hai sopportato tutte le mie paure, le mie ansie, le mie preoccupazioni e sei sempre riuscito a trasformarle in qualcosa di positivo che mi facesse andare avanti con più forza di prima. Grazie perché credi in me e perché in questi anni mi hai fatto crescere, mi aiutato a credere di più in me stessa e mi hai regalato qualcosa di unico.

Nonostante non consideri la laurea un traguardo, ma piuttosto il punto di partenza di un lungo viaggio, ci sono delle persone che mi hanno sostenuto ed aiutato ad arrivare fino a qui e che intendo ringraziare con l'invito di continuare a farlo.

Ringrazio il professore Salvalai per la sua disponibilità e per aver creduto in noi e nel nostro lavoro; il professore Muscogiuri per averci accompagnato durante questo percorso di tesi senza perdere mai l'occasione di trasmetterci la sua passione per l'architettura.

Ringrazio i miei genitori per il continuo sostegno; in particolare mia mamma per avermi insegnato a vivere la vita affrontando i momenti più difficili, anche di questo percorso universitario, e mio papà per aver sempre cercato di stimolare il mio spirito ingegneristico con passione.

Ringrazio le mie sorelle Chiara ed Arianna per sostenermi sempre e per riempire le mie giornate di allegria; ringrazio mia nonna Liliana per non avermi mai fatto mancare l'affetto.

Un grazie di cuore va a Stefania e Francesca, mie compagne di tesi ma soprattutto di vita, di risate, di consigli e di momenti felici; insieme abbiamo raggiunto questo traguardo tanto sudato, ma pieno di sorrisi.

Grazie a Paola e Claudia per avermi sempre spronato e per le tante serate spensierate; grazie a Maela e Marti per la vostra allegria contagiosa.

Grazie ad Elisa, Valeria, Laura, Carlo, Simone ed a tutta la squadra per avere reso l'università un luogo più divertente.

Thanks to Romain for helping me finding my motivation and for feeding my dreams.

