



POLITECNICO DI MILANO _ Polo Territoriale di Lecco

Scuola di Ingegneria Edile- Architettura

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

MODULA

Modular Optimized Design Urban Low Energy Architecture

Progetto di un edificio ad alta efficienza energetica con tecnologia a moduli prefabbricati a Brera, Milano

TESI DI LAUREA DI:

Serenella Mauri 716155

Elena Molteni 717549

Chiara Valsecchi 719208

RELATORE: Prof. Marco Imperadori

CO-RELATORI: Prof. Roberto Francieri - Prof. Matteo Colombo - Prof. Graziano Salvalai

INDICE

ABSTRACT	2.1.5 Analisi sociale e culturale	2.2.5.1 Cenni storici	3.1.2.2 La scelta del modulo prefabbricato
1 PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012	2.1.6 Il design a Milano	2.2.5.2 Modelli insediativi	3.1.3 Abitare il container
1.1 L'ESPERIENZA COMPASSO VOLANTE	2.1.6.1 Achille Castiglioni	2.2.5.3 Tipologie	3.2 LA NUOVA DESTINAZIONE D'USO
1.2 TEMATICA DEL CONCORSO E VINCOLI PROGETTUALI	2.1.7 Brera Design District	2.2.5.4 Esempi italiani ed europei	3.3 CONCEPT
1.2.1 Indici urbanisitici	2.1.7.1 Brera e la storia	2.3 ANALISI BIOCLIMATICHE	4 PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
1.2.2 Vincoli progettuali	2.1.7.2 Brera oggi	2.3.1 Inquadramento generale	4.1 IL MASTERPLAN
1.3 PROGETTO DI CONCORSO	2.2 ANALISI ARCHITETTONICHE	2.3.2 Parametri climatici	4.2 DESTINAZIONI D'USO E LAYOUT
2 ANALISI PRELIMINARI	2.2.1 Analisi stilistica e architettonica	2.3.2.1 Temperatura dell'aria esterna	4.2.1 Destinazioni d'uso pubbliche
2.1 ANALISI DEL CONTESTO	2.2.2 L'housing a Milano	2.3.2.2 Energia radiante	4.2.1.1 Livello 0
2.1.1 L'area di progetto	2.2.2.1 Evoluzione della tipologia dell'abitazione	2.3.2.3 Precipitazioni	4.2.1.2 Livello-1
2.1.2 Sviluppo urbanistico	2.2.3 Autori di riferimento	2.3.2.4 Venti e brezze	4.2.1.3 Livello-2
2.1.2.1 Milano attraverso i piani urbanistici	2.2.3.1 Gio Ponti	2.3.2.5 Umidità relativa	4.2.2 Destinazioni d'uso private
2.1.2.2 I catasti e la città	2.2.3.2 Antonio Citterio	2.3.2.6 Comfort termico	4.2.2.1 Arredabilità
2.1.2.3 I catasti e Brera	2.2.3.3 Cino Zucchi	3 NUOVA SFIDA TECNOLOGICA	4.2.2.2 Adattabilità e disabili
2.1.3 Analisi dei servizi	2.2.4 Analisi dei cromatismi	3.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA: I MODULI PREFABBRICATI	4.3 FORMA E FUNZIONE: OTTIMIZZAZIONE MODULARE
2.1.4 Trasporti e viabilità	2.2.4.1 Colori e materiali	3.1.1 La prefabbricazione in architettura ed edilizia	4.3.1 I moduli base
	2.2.5 La residenza per studenti	3.1.1.1 Il modulo prefabbricato	4.3.2 Tipo 1: variazioni
		3.1.2 Architetture di moduli prefabbricati	4.3.3 Tipo 2: variazioni
		3.1.2.1 L'esperienza campus point	4.3.4 La disposizione nell'edificio
			4.4 I FRONTI

4.4.1	Prospetto Nord	144	6.1.2	Elementi di oscuramento e captazione solare	185	6.3.5	Acqua calda sanitaria	216	7.2	IL PROGETTO STRUTTURALE	248
4.4.2	Prospetto Est	146	6.1.3	Guadagni interni gratuiti e pre-trattamento dell'aria	192	6.3.5.1	Serbatoio di accumulo	218	7.2.1	Livelli in c.a	248
4.4.3	Prospetto Ovest	149	6.1.3.1	Guadagni interni gratuiti	192	6.3.6	Fabbisogno termico	220	7.2.2	I moduli in acciaio	249
4.4.4	Prospetto Sud	150	6.1.3.2	Ventilazione naturale _ geotermica	193	6.3.6.1	Fabbisogno estivo	220	7.2.3	Gli elementi a sbalzo.....	251
5	PROGETTAZIONE TECNOLOGICA	151	6.2	ANALISI PRELIMINARI ILLUMINOTECNICHE	197	6.3.6.2	Fabbisogno invernale	223	7.2.4	Elementi controventanti.....	253
5.1	IL MODULO PREFABBRICATO: IMPLEMENTAZIONE DEI PACCHETTI TECNOLOGICI.....	154	6.2.1	Analisi dell'ombreggiamento.....	197	6.3.6.3	Risultati	223	7.3	ANALISI AGLI STATI LIMITE	259
5.1.1	Componibilità	155	6.2.1.1	Prospetto Sud.....	197	6.3.7	Pannelli radianti	232	7.3.1	AZIONI SULLE COSTRUZIONI	259
5.1.2	Compattezza e movimentazione	156	6.2.1.2	Prospetto Est.....	199	6.3.8	Impianto ad aria	224	7.4	ANALISI DEI CARICHI.....	261
5.1.3	Continuità di isolamento	156	6.2.1.3	Prospetto Ovest	200	6.3.8.1	Unità di trattamento dell'aria.....	227	7.4.1	Carichi permanenti (G)	261
5.2	OTTIMIZZAZIONE DEI MATERIALI	157	6.2.2	Verifica degli elementi frangisole	201	6.3.8.2	Ventilazione meccanica controllata	227	7.4.1.1	Non strutturali (G ₂).....	261
5.2.1	Leggerezza.....	157	6.2.2.2	Fattore di luce diurna ed illuminamento.....	204	6.3.8.3	Dimensioni dei canali	233	7.4.2	Carichi variabili (Q).....	264
5.2.2	Sostenibilità e prestazioni.....	158	6.2.3	Appartamento sfavorito.....	204	6.3.9	Pompa di calore	235	7.4.3.1	Carichi d'esercizio per categoria di edificio	264
5.3	VERIFICHE PRESTAZIONALI	160	6.2.3.2	Appartamento favorito	207	6.3.9.1	Fabbisogno energia elettrica	237	7.4.3.2	Azione del vento	266
5.3.1	Prestazioni termiche	160	6.3	SOLUZIONI IMPIANTISTICHE	210	6.3.10	Serbatoio recupero acqua piovana.....	239	7.4.3.3	Azione della neve	272
5.3.2	Prestazioni acustiche	161	6.3.1	Il concept impiantistico.....	210	6.3.11	Costruibilità	241	7.5	COMBINAZIONI DEI CARICHI	274
5.4	DETTAGLI TECNOLOGICI	165	6.3.2	Il sistema di distribuzione	212	6.4	CERTIFICAZIONE ENERGETICA: CENED	242	7.5.1	Combinazioni di calcolo.....	274
6	PROGETTAZIONE ENERGETICA	169	6.3.3	Impianto solare termico	213	7	PROGETTAZIONE STRUTTURALE	243	7.5.1.1	Procedura di calcolo.....	276
6.1	ANALISI ENERGETICA DINAMICA.....	174	6.3.4	Impianto fotovoltaico	215	7.1	ANALISI PRELIMINARI	246	7.6	PREDIMENSIONAMENTO ELEMENTI A SBALZO	279
6.1.1	Verifica dell'involucro	177	6.3.4.1	Facciata sud.....	215	7.1.1	Componente geologica.....	246	7.6.1	Verifica collegamenti bullonati.....	287
			6.3.4.2	Copertura	216	7.1.2	Componente idrogeologica	247	7.6.2	Verifiche delle piastre.....	391

7.7 ELEMENTI STRUTTURALI DEI MODULI	293	7.7.4.5 Deformabilità	314	7.10.2.1 Spettri di progetto SLU_SLV	350	8.3.2.2 Scavo e movimento terra	393
7.7.1 Orditura del solaio	294	7.7.5 Pilastro di bordo.....	315	7.10.2.2 Spettri di progetto SLE_SLD	351	8.3.2.3 Casseratura e getto	394
7.7.2 Trave di bordo	294	7.7.5.1 Analisi dei carichi.....	315	7.10.3 Azione sismica orizzontale.....	354	8.3.2.4 Posa in opera dei moduli prefabbricati.....	395
7.7.2.1 Predimensionamento	294	7.7.5.2 Predimensionamento	316	7.11 POSTAMENTI ORIZZONTALI CONTROVENTO	360	8.3.2.5 Finitura superficiale esterna	397
7.7.2.2 Verifica a taglio.....	295	7.7.5.3 Classificazione della sezione	317	7.11.1 Baricentro geometrico.....	360	8.3.2.6 Posa in opera di serre e cornici	398
7.7.2.3 Verifica alle tensioni ammissibili.....	298	7.7.5.4 Influenza del taglio.....	324	7.11.2 Baricentro delle rigidzze	362	8.3.2.7 Disinstallazione gru e operazioni di completamento.....	398
7.7.2.4 Flessione	299	7.7.5.5 Resistenza della sezione a presso-flessione	325	7.11.3 Azioni sul singolo controvento.....	363	8.4 CONFRONTO QUALITATIVO FRA TECNOLOGIE.....	399
7.7.2.5 Instabilità flesso-torsionale	301	7.7.5.6 Verifica dell'instabilità a presso-flessione.....	327	7.11.4 Spostamento in sommità.....	364	8.4.1 Confronto economico.....	399
7.7.2.6 Deformabilità	304	7.8 DETTAGLI COSTRUTTIVI.....	331	8 PROGETTAZIONE ERGOTECNICA	370	8.4.2 Confronto tempistico.....	405
7.7.3 Trave di bordo piano 4.....	305	7.8.1 Connessione dei moduli in acciaio	331	8.1 ANALISI DELL'AREA DI PROGETTO	370	9 CONCLUSIONI	411
7.7.3.1 Verifica a taglio	305	7.8.1.1 Dispositivi di accoppiamento verticale	332	8.1.1 Descrizione dell'area operativa	371	BIBLIOGRAFIA	
7.7.3.2 Verifica alle tensioni ammissibili.....	306	7.8.1.2 Dispositivi di accoppiamento orizzontale	332	8.1.2 Caratteristiche geomorfologiche del terreno.....	371	INDICE DELLE IMMAGINI	
7.7.3.3 Flessione	307	7.8.1.3 Implementazione dei dispositivi di accoppiamento.....	333	8.1.3 Vincoli di sottosuolo, di superficie e aerei	372	INDICE DEI GRAFICI	
7.7.3.4 Instabilità flesso-torsionale	308	7.9 PREDIMENSIONAMENTO ELEMENTI IN CALCESTRUZZO	335	8.1.4 Interazioni fra cantiere e ambiente circostante	373	INDICE DELLE TABELLE	
7.7.3.5 Deformabilità	309	7.9.1 Solaio.....	335	8.2 ANALISI DELLA VIABILITA'	374	INDICE DELLE TAVOLE [BOOK A3]	
7.7.4 Tubolare superiore.....	310	7.9.2 Travi.....	335	8.2.1 Analisi del percorso	376	RINGRAZIAMENTI	
7.7.4.1 Verifica a taglio	310	7.9.3 Pilastrini in c.a.....	337	8.3 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE	379		
7.7.4.2 Verifica alle tensioni ammissibili.....	311	7.10 AZIONE SISMICA	342	8.3.1 Specifiche per il progetto del cantiere	379		
7.7.4.3 Flessione	311	7.10.1 Periodo del modo di vibrare principale	342	8.3.2 Fasi di cantiere	393		
7.7.4.4 Instabilità flesso-torsionale	313	7.10.2 Valutazione dell'azione sismica	342	8.3.2.1 Allestimento del cantiere.....	393		

ABSTRACT

MODULA

Modular Optimized Design Urban Low Energy Architecture.

L'idea di progetto nasce dal concorso internazionale "Premio Compasso Volante 2012", il quale aveva come tema progettuale la realizzazione di un edificio polifunzionale ad alta efficienza energetica nel cuore di Milano, in zona Brera.

Dopo il concorso, il progetto ha subito cambiamenti sostanziali in relazione alla scelta di adottare una tecnologia costruttiva di derivazione industriale.

La complessità progettuale nasce dall'esigenza di fornire una casa per studenti, con annessi destinazioni d'uso pubbliche, in coerenza con l'adozione di un sistema a moduli prefabbricati, mirando anche alla sostenibilità del progetto sia rispetto ai vincoli ambientali che alle necessità di realizzazione dell'intera opera. L'approccio verso la scelta materica dei prospetti in relazione alla definizione dei volumi, è stato il primo passo verso un linguaggio in armonia con quello rilevato nel contesto urbano milanese. L'adozione e la rivisitazione di alcuni aspetti architettonici tipici, quali i giochi cromatici e l'aspetto formale sono stati alla base delle prime valutazioni compositive.

Al binomio funzionalità e architettura si è aggiunta una terza complessità, dovuta all'adozione della tecnologia industriale prefabbricata, per la realizzazione dell'edificio. La sfida è stata quella di trasformare i vincoli tecnici-strutturali, tipici di moduli prefabbricati, in un progetto organico in ogni sua parte. È stato approfondito ogni aspetto tecnologico, ottimizzando ogni particolare al fine di verificarne la sostenibilità, economica e funzionale.

Il sistema prefabbricato è stato implementato applicando diversi sottosistemi composti da layer esterni/interni. Ciò ha permesso di raggiungere alte prestazioni di pacchetto in relazione alle strategie energetiche.

L'adozione di moduli di ampie dimensioni, ha reso indispensabile uno studio ergonomico di tutte le fasi di cantierizzazione, dal trasporto all'interno della città, all'assemblaggio in cantiere, agli aspetti della sicurezza.

Nella tesi si sviluppa un progetto che incorpora molteplici complessità, dimostrando che l'adozione di una tipologia costruttiva prefabbricata non nega un ampio spettro di scelte formali ed architettoniche che possano coniugarsi con i vincoli ambientali presenti nel centro storico di una città come Milano, in una parola **MODULA**.

MODULA

Modular Optimized Design Urban Low Energy Architecture.

The idea for this project comes from the international contest "Premio Compasso Volante 2012", that had as the projectual theme the realisation of a polifunctional building with a high energetical efficiency in the heart of Milan, in the Brera area.

After the the contest, the project underwent substantial changes in relation to the choice of adopting an industrial derived architectural technology.

The projectual complexity comes from the need to supply a students' house, with annexed purposed of public use, in coherence with the adoption of a prebuilt modules system, taking into consideration the sustainability of the project in relation to the respect of the environmental restrictions and the need to realize the entire project. The approach towards the material choice of the prospects in relation to the volums' definition, this has been the first step towards a language in tune with the milan urban context. The adoption and the reconsideration of some typical architectural aspects, like the chromatic games and the formal aspect have been the base for the first formal evaluation.

There is a third complexity that came as an add to the binomial functionality and architecture, this is because of the adoption of the prebuilt industrial technology, for the realization of the building. The challenge has been the one to transform the technical and structural restrictions, typicals of the prebuilt modules, in an organic project in every single part. Every technological aspect has been deepened,

optimizing every detail in order to verify the sustainability, both economical and functional. The prebuilt system has been implemented applying different subsystems made by inside and outside layer, this allowed an high performance of the package in relation to the energy strategies.

The adoption of the modules, of wide dimensions, has made essential an ergotechnical study in all the phases of the construction site, from the transport in within the city, to the assembly in the construction site, to the safety issues.

In the thesis is developed a project that incorporates a variety of complexities, showing that the adoption of a prebuilt constructive type doesn't deny a wide spectrum of formal and architectural choices that can combine with the environmental restrictions already present in the historic centre of a city like Milan, in a word MODULA.

Nel presente capitolo viene esposta l'esperienza del Premio Compasso Volante, attraverso la quale è stato concepito il progetto iniziale da cui è stata elaborata la presente tesi.

L'occasione del concorso ha posto le basi per il successivo lavoro di ricerca, definendo il tema ed i vincoli da cui partire per la progettazione dell'edificio in oggetto. Si espongono quindi le tappe fondamentali di questa esperienza e il loro significato.

Viene riportato poi il bando di concorso con le relative limitazioni e spiegazioni legate alla collocazione e alla tipologia del progetto, riscontrabili nelle normative vigenti e nei regolamenti del Comune di Milano.

Infine si descrive brevemente il progetto conclusivo, FLORA, riportando alcuni elaborati schematici di sintesi e la tavola finale di concorso.

1.1 L'ESPERIENZA COMPASSO VOLANTE

Il progetto che verrà esposto all'interno del presente lavoro trova la sua origine, per quanto riguarda la tematica e la localizzazione, nella XIV Edizione (anno 2012) del Premio Compasso Volante, dedicato al Professore Ettore Zambelli, uno dei suoi ideatori insieme ai Professori Marco Imperadori e Giuseppe Turchini.

Questo concorso di progettazione riservato agli studenti nasce dalla collaborazione tra la Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, con altre prestigiose università d'Europa e del mondo ed ha l'obiettivo di fornire spunti ed occasioni di confronto tra professori, studenti e professionisti, sulla base dell'elaborazione di un tema scelto differentemente ogni anno. L'impostazione del premio, permette di creare occasioni di scambio culturale e accademico, attraverso viaggi di studio, workshop, lezioni di approfondimento in cui i partecipanti traggono spunti ed arricchiscono le loro conoscenze.

In particolare, l'edizione 2012, si è concentrata sulla città di Milano, e sul tema dell'isolato e della maglia urbana consolidata attraverso il tema " Smart Architecture in Milano city center ".

Anche in questo caso le opportunità di confronto e di crescita sono state molteplici per noi studenti.

Sono state innanzitutto fondamentali le visite, sotto la guida esperta dei docenti, della città di Milano, così vicina alla nostra realtà, ma anche così ricca di angoli e zone da scoprire, di storia e di spunti culturali; abbiamo potuto ritrovare nella città i segni dei grandi maestri dell'architettura, passata e contemporanea; ci è stato possibile parlare con chi ha vissuto a stretto contatto con essi, come durante la

visita a Casa Castiglioni, dove la figlia del grande designer ci ha dato una visione di questa rilevante personalità; ci è stato possibile scoprire l'atmosfera di Milano, centro prediletto per eventi culturali e innovativi ed infine, ma non meno importante, ci è stata data l'occasione di visitare luoghi non comunemente accessibili, come il Teatro alla Scala ed i suoi retroscena.

Grazie al Concorso, ci è stato inoltre possibile vedere da vicino cantieri di grandi opere attualmente in costruzione, come nel caso del quartiere Le Albere, progettato da Renzo Piano e del cantiere degli edifici di Porta Nuova a Milano, dimostrandoci come un progetto sia valido, quando è possibile trasporlo nella realtà concreta toccando ambiti e problematiche differenti.

Alcuni dei progettisti di queste opere hanno concesso di incontrarci, nel loro studio come nel caso di Piuarch., raccontandoci la loro progettazione, o guidandoci attraverso la loro creazione, come l'Arch. Pagliani, dello studio Park Associati, che ci ha permesso di visitare con lui l'esclusivo The Cube, ristorante spostabile, nella sua collocazione temporanea, frontale al Duomo di Milano.



Fig.01 Il logo del Concorso Premio Compasso Volante ideato da Guido Scarabottolo: un compasso che libra le sue braccia verso l'alto generando l'ombra del lago di Como e dei suoi due rami, acquisito come simbolo della Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura.

Una tappa molto importante è stato il viaggio in Cina, nel mese di Giugno, dove in 10 giorni divisi tra le città di Macao ed Hong Kong, abbiamo potuto, riscontrare di prima mano una realtà urbana di forte contrasto rispetto a quella dove deve essere inserito il progetto. Queste città con la densità di costruzione, l'estensione territoriale, il loro sviluppo verticale, e la loro natura di luoghi colonici, in cui in una piazza ci si sente in Europa, e dietro l'angolo si ritrova la misticità dell'oriente con i suoi templi ed i suoi colori, sono state di forte impatto ed ispirazione per la progettazione. Nel corso di questo viaggio, inoltre, sono state svolte alcune lezioni da parte del Professor José Luis de Sales Marques, per un periodo a capo del governo di Macao, e di Carlos Marreiros, architetto di spicco nel panorama orientale e mondiale. Durante il Workshop Macao, abbiamo inoltre presentato loro i progetti, nella loro prima fase di evoluzione, riscontrando interesse ed attenzione da parte dei professionisti.

Il contatto con una realtà così diversa e lontana come quella orientale, ci hanno permesso di analizzare da un'altro punto di vista il panorama urbano, di notare forze e debolezze della realtà a noi vicina e di rapportarci, quindi ad essa con un occhio più critico e maturo in sede di progettazione.

Altri spunti di apertura della visione progettuale, ci sono stati dati durante alcuni workshop. Il primo, svolto a Milano nella sede dell'HUB- textile workshop- laboratorio, gestito da Barbara Zucchi Frua, ha permesso attraverso la stoffa, i colori e le forme, di dare spazio alla creatività, rappresentando in modo astratto la visione del concept di progetto che avevamo, rendendolo poi una visione concreta nell'edificio. Inoltre, un'attività di laboratorio aperta a tutti come questa, presente nella città, ha dato ispirazione ad alcune delle destinazioni d'uso a carattere didattico-culturale presenti nel progetto e ci ha fatto scoprire l'esistenza di spazi di questo tipo, alternativi, moderni e con un forte carico creativo.

Il secondo workshop svolto, è stato affrontato insieme all'Università degli Studi di

Palermo, alla Kogakuin University di Tokyo e al Singapore Polytechnic che con alcuni dei loro studenti partecipanti al Concorso, hanno soggiornato presso la città di Lecco per alcuni giorni, sia per lo svolgimento dello stesso, ma anche per una giornata di esposizioni generale dei progetti finali presentati al Premio.

L'obiettivo del Paperboard Building Workshop, è stato di costruire tramite scarti di cartone, delle abitazioni-rifugio sulla base di quelle utilizzate in Giappone, a seguito del terremoto, per creare degli spazi privati all'interno delle aree comuni d'emergenza, come palestre o scuole. al fine dell'elaborazione di questi piccoli progetti, è stata necessaria la collaborazione tra studenti di varie nazionalità, creando gruppi coesi misti tra oriente ed occidente che hanno dato un forte impulso comunicativo ed un grosso apporto didattico dal punto di vista della cooperazione e del lavoro con persone differenti da noi per formazione e cultura.

Infine, da non dimenticare, è stata la gratificante possibilità di esporre i progetti all'Urban Center nel centro di Milano, che ha rappresentato un'occasione per mostrare il risultato di una ricerca approfondita per la riqualificazione di un'area della città, basata sull'integrazione e sullo studio di modelli diversi.

Quelle citate sono solo alcune delle esperienze sperimentate grazie al Concorso Premio Compasso Volante. Esso ha rappresentato un'occasione unica per conoscere in maniera consapevole la realtà urbana e socio-culturale a cui siamo vicini, ma che spesso viene messa in secondo piano; come da un lato, questa esperienza ci ha avvicinato alla nostra realtà, contemporaneamente ci ha permesso di andare oltre essa, vedendo luoghi e culture diverse, conoscendo persone e personalità di valore, stringendo legami umani e collaborazioni, lavorando insieme e mostrando come l'architettura possa essere più di una disciplina accademica, ma anche un modo di vedere le cose, con curiosità ed autocritica, cercando di portare un apporto nuovo e positivo ai luoghi a cui ci avviciniamo a lavorare, senza dimenticare di valorizzare ciò che già vi è presente e da cui trarre la primaria ispirazione.



Fig.02 Una delle visite a Milano accompagnati dal Prof. Imperadori.

Fig.03 Visita a The Cube l'Arch. Pagliani, il progettista.

Fig.04 Visita cantiere degli edifici a Porta Nuova a Milano.

Fig.05 Viaggio ad Hong Kong.

Fig.06 Viaggio a Macao - Workshop di presentazione dei progetti al Prof. José Luis de Sales Marques e all'Arch. Carlos Marreiros.

Fig.07 HUB - Textile Workshop gestito da Barbara Zucchi Frua, Milano

Fig.08 Paperboard Building Workshop con le università di Palermo, Tokyo e Singapore.

Fig.09 Esposizione finale dei progetti dall'Urban Center di Milano.



1.2 TEMATICA DEL CONCORSO E VINCOLI PROGETTUALI

Per quanto riguarda l'edizione 2012, la tematica del concorso è Smart Architecture in Milano City Center, ovvero la progettazione di un edificio multifunzionale, situato nel centro di Milano.

Il progetto si pone l'obiettivo di riqualificare un vuoto urbano attraverso la creazione di un edificio che si inserisca coerentemente nel contesto, non dimenticando la riduzione dell'impatto ambientale attraverso strategie energetiche ed introducendo anche una quota di innovazione tecnologica.

L'area di progetto è infatti, un lotto in Via Palermo, nel quartiere storico di Brera a Milano, un'area densamente costruita, caratterizzata da edifici storici, tipici del panorama urbano della città.

Questa riqualificazione, però, non è limitata solo alla creazione di un fabbricato in un'area libera, ma si sottolinea anche come alcune delle funzioni introdotte, dovranno avere carattere sociale e culturale bilanciate comunque da altre che apportino maggiore vantaggio economico.

Partendo da un sito di progetto di 706 m², il bando di concorso impone:

- 2 livelli interrati contenenti spazi culturali e didattici o per la socializzazione giovanile; tali aree possono estendersi su tutta l'area del lotto;
- un piano terra ospitante anch'esso attività culturali o di servizio del quartiere e può essere più alto degli altri livelli;
- una parte centrale da dedicare a residenze di diverse dimensioni indirizzate a differenti target di utenti;

- un piano attico che può ospitare altre attività pubbliche come caffetteria o ristorante panoramico con accesso indipendente.

Nel bando di concorso, viene inoltre presentato il volume indicativo che l'edificio deve occupare all'interno dell'area di progetto, individuando così una forma ad "L" dello stesso, che riduce la sua dimensione procedendo in altezza, e la presenza di una corte centrale.

Si nota perciò, come la forma del fabbricato sia particolarmente limitata dalla presenza di vincoli urbanistici di seguito esplicitati e dalla limitata dimensione dell'area di progetto.



Fig.10 Schema del massimo volume costruibile e del volume non costruibile.

1.2.1 INDICI URBANISITICI

Il sito di progetto, è ubicato in Via Palermo 19 a Milano. Poiché l'Area di pertinenza dell'edificio risulta essere pari a 706,67 m² è possibile calcolare i seguenti parametri e indici urbanistici:

$$A_f = \text{Area di pertinenza dell'edificio} = 706,67 \text{ m}^2$$

$$S_f = \text{Superficie coperta} = 424,2 \text{ m}^2$$

$$r = S_f/A_f = \text{rapporto di copertura} = 0,6$$

$$\text{Superficie occupata} = 636,3 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie filtrante} = 70,67 \text{ m}^2$$

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

In riferimento all'Art. 12. (Superficie coperta, occupata, filtrante), si ha che:

- la superficie coperta dalle costruzioni non deve essere superiore al 60% dell'area del lotto di pertinenza;
- la superficie occupata non deve risultare superiore al 90% del lotto di pertinenza nelle zone A e B, all'80% del lotto di pertinenza nelle altre zone omogenee;
- la superficie filtrante non deve risultare inferiore al 10% nella zona omogenea A e nella zona omogenea B, ed al 20% nelle altre zone omogenee; tale superficie deve avere carattere di continuità e compattezza;
- la superficie filtrante deve essere sistemata a verde o comunque mediante soluzioni filtranti alternative che garantiscano pregio ambientale;
- l'area libera in superficie, eccedente la superficie filtrante, anche se edificata

nel sottosuolo e depurata da rampe, accessi, percorsi, corselli ed eventuali parcheggi a raso, deve essere sistemata a verde per una quota non inferiore al 60% della sua estensione, anche mediante fioriere e giardini pensili.

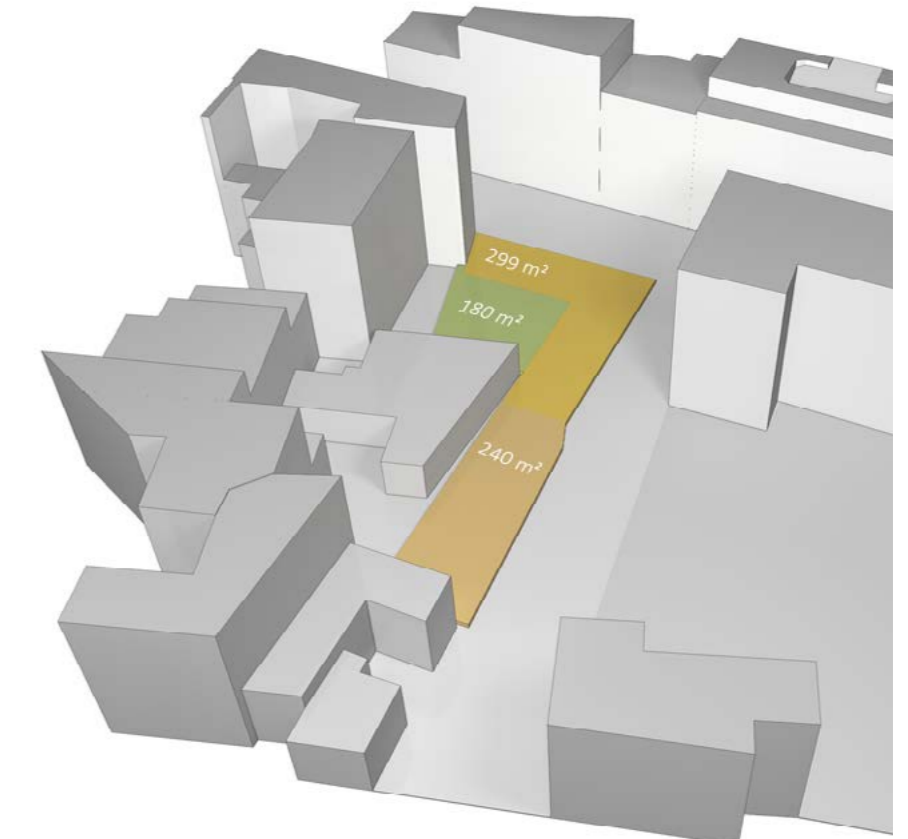


Fig.11 Dimensioni dell'area di progetto.

1.2.2 VINCOLI PROGETTUALI

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

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



Fig.12 Tavola N. R.01/2D, Piano delle Regole PGT di Milano.

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

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

In base alle *Norme Tecniche di Attuazione* del PGT vigente, all' *Art. 20 Zone B2* si stabilisce che: " *Le Zone omogenee B2 sono destinate ad insediamenti misti residenziali, artigianali, industriali, terziari, commerciali, ad attrezzature pubbliche o di uso pubblico e collettivo, nonché a servizi privati.* " Tali destinazioni d'uso risultano dunque compatibili con quelle indicate dal bando di concorso.



Fig.13 Tavola N. R.04/1, Piano delle Regole PGT di Milano.

Data la collocazione l'*Allegato 5 (Norme di Attuazione delle Zone a di Recupero e delle Zone B di Recupero)* del PRG del 1980 e relative varianti con l' *Art 18 bis* definiscono che nelle Zone A di recupero per le nuove costruzioni l'indice urbanistico di fabbricabilità I_f deve essere inferiore a $5m^3/m^2$. Inoltre tale documento rimanda alla lettura degli strumenti del PRG 1980 per quanto concerne la conoscenza dei restanti indici urbanistici.

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

Tab.01 Indici urbanistici.

ZONA A- CS V 1.6- ZONA B R 1.7- INDICI URBANISTICI E ALTRE PRESCRIZIONI	
MODAL. DI INTERVENTO	PCc
N. AMBITO	2
INDIVIDUAZ. AMBITO	Via Palermo 19
TIPOL.*	c
INDICI URBANISTICI***	$i_f [m^3/m^2]$ $i_r [m^3/m^2]$ Slp [m ²] 1300+230
UNITA' INTER.**	2
FUNZIONI ****	IN CONFORMITA' AZZ. FUNZIONALE P.R.G.: R
INDICAZIONI AGGIUNTIVE	Ricostruzione edificio demolito. Allineamento dei nuovi edifici lungo via Palermo. Edificio di mq 230 destinato ad attività di interesse collettivo max 1 piano fuoriterra.

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

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

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

In base all' *Art. 11* del *Regolamento Edilizio* è possibile ricavare il volume costruibile: " *Il volume delle costruzioni è da ricavarsi convenzionalmente moltiplicando la superficie lorda complessiva di pavimento (S.l.p.) dei singoli piani per l'altezza virtuale dell'interpiano di m. 3,00 indipendentemente dalla sua altezza effettiva. Dunque risulta V pari a 4590 m3.* "

Il bando di concorso prevede inoltre la realizzazione di 2 piani interrati estesi per tutta la superficie del lotto, caratterizzati da un'altezza massima di scavo pari a 9 m. Ulteriori vincoli per quanto riguarda tali piani sono esplicitati dall'*Art. 11* del *Regolamento Edilizio*, in cui si specifica che i locali sotterranei non possono essere in alcun modo adibiti ad abitazione. Tali spazi, inoltre, sono considerati agibili se:

- altezza e superficie minima utile sono secondo gli indici previsti per le specifiche destinazioni;
- il vespaio è aerato e alto 0,50 m, il pavimento unito ed impermeabile, i muri protetti efficacemente contro l'umidità del terreno, la resistenza termica conforme alle disposizioni di legge vigenti in materia, rispetto degli indici di fonisolamento delle norme vigenti;

- dispongono di aeroilluminazione naturale diretta o condizionamento e illuminazione artificiale;

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

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

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

DISTANZE E ALTEZZE: [Rif. Art.27]

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

della costruzione su un piano perpendicolare alla fronte stessa, risulti esterna al profilo degli edifici circostanti, anche di terzi, comprese le sporgenze;

- le altezze dei nuovi fabbricati prospicienti spazi pubblici devono soddisfare la condizione appena descritte e comunque assicurare il corretto inserimento dell'edificio con il costruito esistente.EDIFICAZIONE SUL CONFINE: [Rif. Art.28]

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

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

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

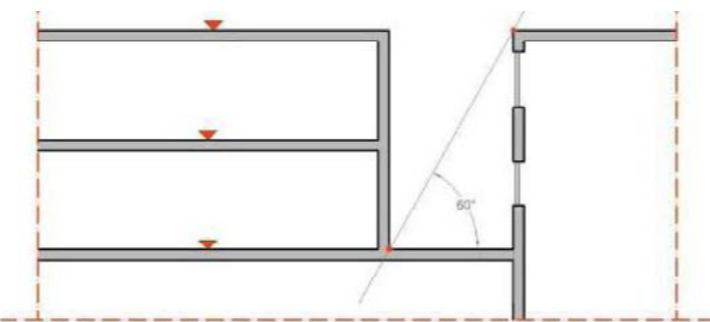


Fig.14 Metodo grafico per il calcolo della distanza tra edifici.

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

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

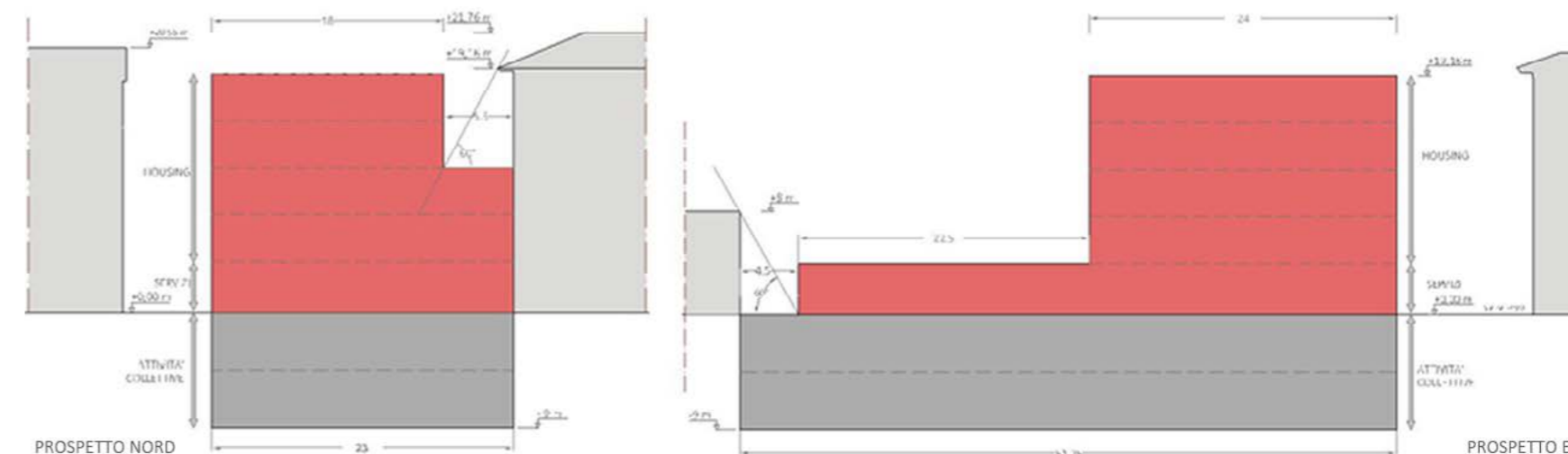


Fig.15 Schema delle dimensioni massime di progetto.

- trasporto verticale delle persone e delle cose, secondo quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di abbattimento delle barriere architettoniche;
- eventuale aerazione forzata.

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

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

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

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

La dimensione degli alloggi è espressa in m² di S.I.p. :

- l'alloggio non può avere una superficie utile inferiore a 30 m²;
- la superficie minima utile degli spazi di abitazione e di servizio non deve risultare inferiore ai valori in tabella:

Tab.02 Superficie minima dei locali.

LOCALE	SUPERFICIE MINIMA UTILE
	m ²
camere ad un letto	9
camere a due letti	14
cucina	5
soggiorno	14
locale studio	7
servizio igienico	3,50 (lato minimo 1,7 m per alloggi con s.l.p>70 m ²)
secondo servizio igienico	2 (lato minimo 1,2 m)

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

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

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

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

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

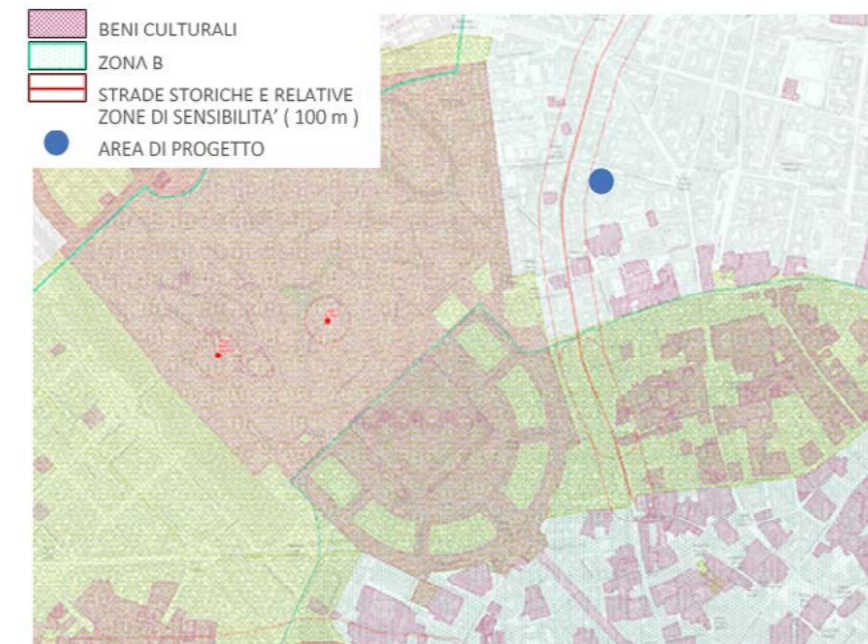


Fig.16 Tavola R.06/D Piano delle Regole PGT, Milano

1.3 PROGETTO DI CONCORSO



Fig.17 FLORA, vista Nord.

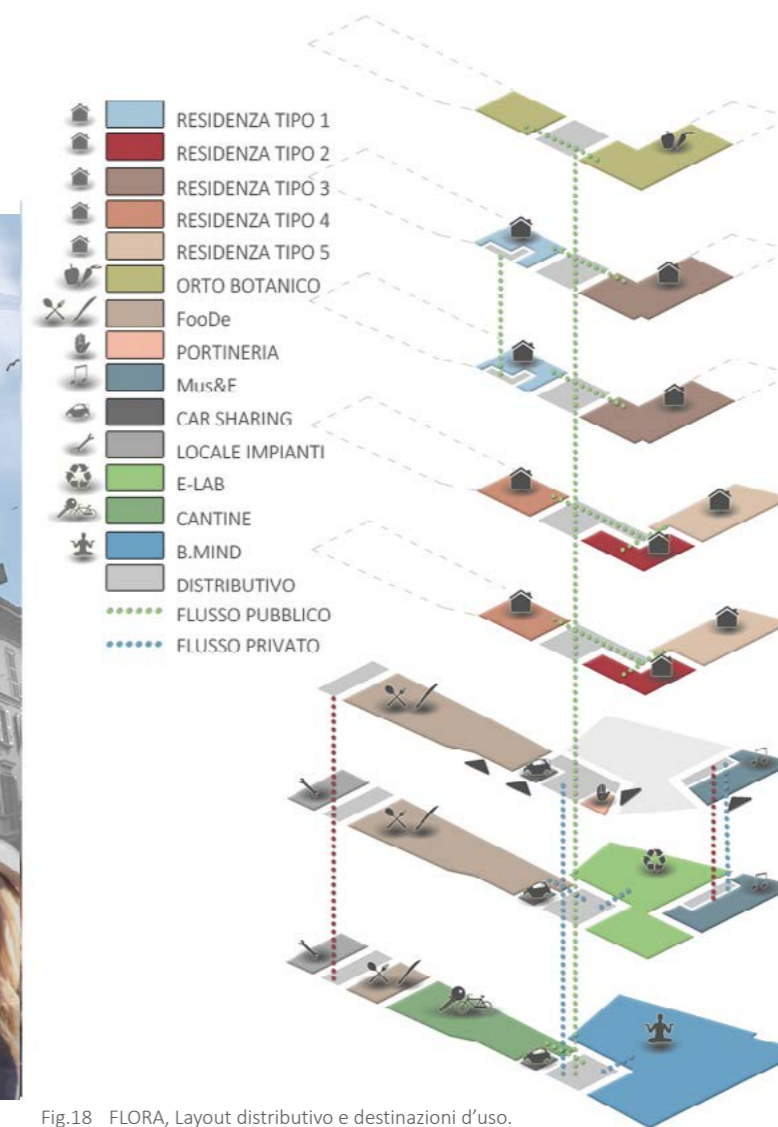


Fig.18 FLORA, Layout distributivo e destinazioni d'uso.

Il progetto presentato per il Premio Compasso Volante è FLORA (Functional, Low Energy, Optimization, Recycled, Architecture).

Data la localizzazione nel quartiere di Brera, il distretto del design milanese, il concept di base dell'edificio è legato proprio al design ed al concetto di libreria come composizione di spazi ed elementi funzionali con forte carattere estetico che svolgono un compito ben preciso. Queste qualità sono quelle che dovrebbe avere un edificio e che sono trasposte nel progetto sviluppato.

In relazione al bando di concorso, l'edificio è diviso tra funzioni pubbliche e residenziali. Secondo questa differenziazione, al livello 0 ed ai piani interrati si collocano le attività collettive, mentre i piani superiori sono adibiti ad abitazioni.

Conformemente a quanto richiesto, le attività inserite hanno tutte una connotazione didattico sociale.

Al piano terra è presente in primo luogo FooDe (Food Design), un ristorante in cui l'arredo e gli oggetti sono pezzi di design contemporaneo che vengono "esposti" temporaneamente, al fine di permettere agli artisti di mostrare le loro creazioni in modo attivo, per la funzione per cui sono state create. Tale funzione si estende anche ai piani inferiori per quanto riguarda i locali di servizio.

Al livello 0 è presente anche Mus&E (Music & Entertainment), un negozio di musica dove è possibile mostrare le proprie abilità musicali in vetrina o provare i propri brani nella sala prove presente al piano interrato.

Nel primo livello sotterraneo si trova E-Lab (Ecological Lab), un laboratorio didattico dedicato alle attività artigianali di riciclo e riuso degli oggetti.

Scendendo di un ulteriore piano è possibile trovare B.Mind (Body & Mind), una palestra dove vengono svolti corsi di ginnastica dolce come stretching e yoga per l'esercizio del corpo e della mente.

Nei locali sotterranei si trovano anche gli spazi di servizio, come il vano impianti e le cantine relative agli appartamenti. E' stato anche introdotto un servizio di portineria e car sharing per gli utenti dell'edificio.

Per quanto riguarda le residenze, esse sono di diverse dimensioni, per utenze differenti, e vanno da 49 a 110 m², includendo anche due duplex.

Una parte del progetto a cui è stata data molta importanza è la corte interna, che è stata resa pubblica ed accessibile al quartiere, coerentemente col concept generale di socializzazione. Questo spazio verde è arredato e fruibile dotato di sedute in continuità con i lucernari a pavimento che portano luce ai piani inferiori.



Fig.19 FLORA, Vista della corte.

Per quanto riguarda i prospetti, l'edificio è caratterizzato dalla presenza di elementi aggettanti che inquadrano le aperture come cornici. Esse hanno funzione di frangisole verticali per i prospetti Est ed Ovest, e di protezione orizzontale per il fronte Sud. Tali elementi, inoltre, variano la dimensione dell'aggetto, a seconda dell'orientamento, raggiungendo un massimo sulla facciata meridionale. A Nord, invece, sono pressochè nulli, vista l'assenza di luce diretta.

Le cornici in alcuni casi hanno anche funzione di balcone e cingono più finestre contemporaneamente. Sul lato Sud, ed Ovest, i maggiormente soleggiati, esse si trasformano in serre solari per la captazione di calore durante l'inverno.

Il concetto della variazione dell'edificio a seconda dell'orientamento, influenza anche la scelta del colore. Le pareti, infatti, in intonaco graffiato nei piani superiori e liscio al livello 0, assumono un colore più chiaro nelle facciate sulla corte, come detto quelle più colpite dal sole, e più scuro sui prospetti esterni in continu-



Fig.20 FORA, Prospetto Nord.

ità con i cromatismi del contesto. Le facciate, inoltre, risultano compositivamente movimentate, grazie alla disposizione ed alle differenti dimensioni delle finestre che giocano su tre moduli base.

Infine è stato considerato l'aspetto costruttivo dell'edificio. E' stato adottato un sistema costruttivo a pareti prefabbricate secondo il tipo " Cocoon ", in cui attraverso una sottostruttura leggera, è possibile montare in opera intere parti di facciata comprese di finestre ed eventualmente cornici, ottimizzando il sistema costruttivo.

Il progetto è stato trattato in tutti i suoi aspetti, da quelli più estetico-creativi a quelli tecnologici ed energetici, nell'ottica di una progettazione completa e coerente in ogni ambito, per creare un edificio funzionale ed ottimizzato secondo ogni punto di vista come richiesto dal Concorso. Una visione completa del risultato è possibile attraverso le tavole elaborate per il premio di seguito riportate.



Fig.21 FORA, Prospetto Sud.

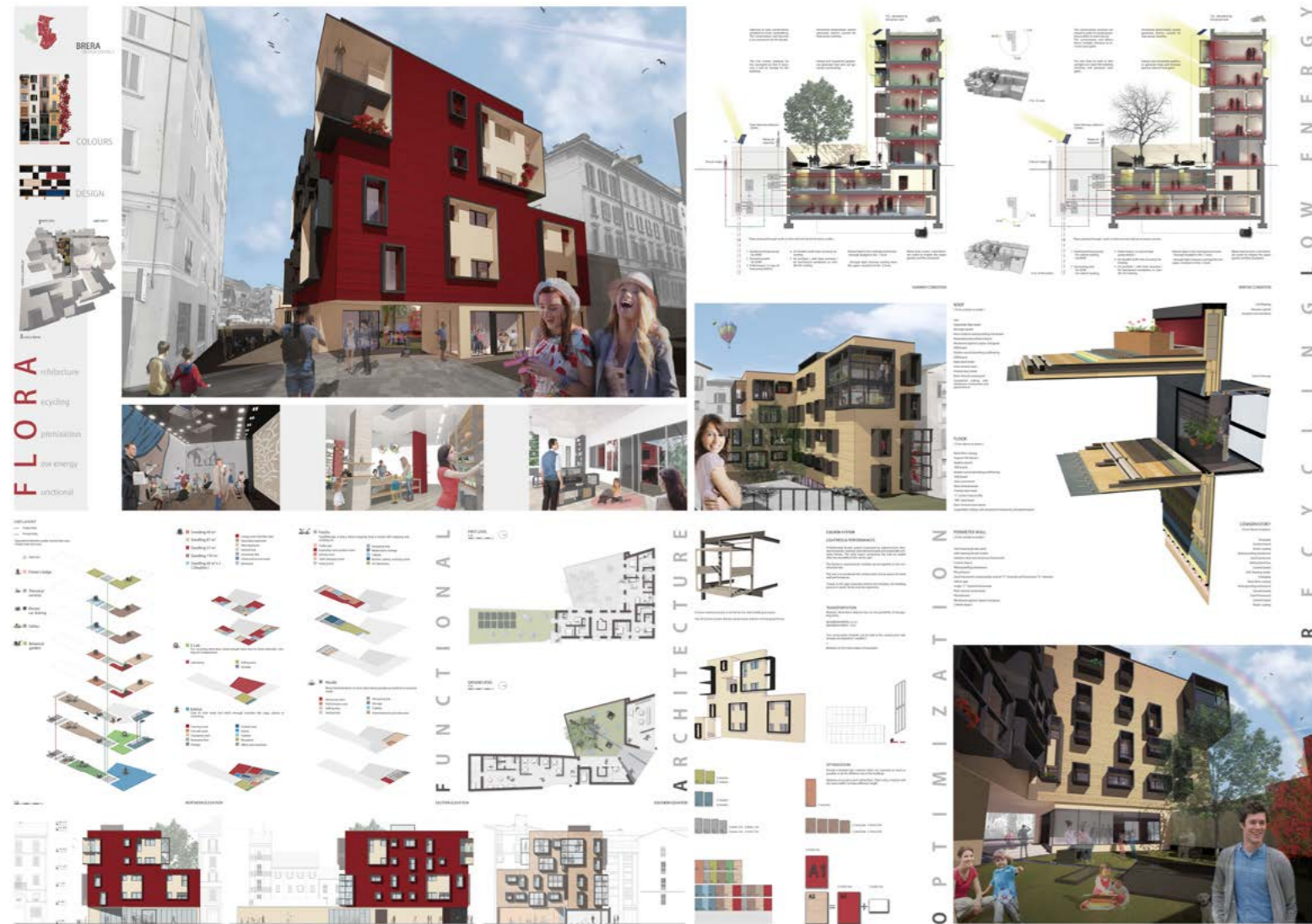


Fig.22 FLORA, Tavola finale di concorso.

In questo capitolo si espongono le analisi svolte al fine di avere una base per le scelte da effettuare nella progettazione successiva.

La parte iniziale riguarda l'area di progetto e la sua collocazione nello scenario milanese. Si descrive brevemente il suo sviluppo storico attraverso le cartografie, concentrandosi prima sull'intera città per poi limitarsi all'area di progetto. Sono poi riportate le ricerche sui servizi presenti nelle vicinanze del lotto, sulla sua connessione con i mezzi di trasporto pubblici e con la rete stradale.

Viene in seguito aperta una parentesi sulla cultura del design milanese e del quartiere di Brera, sulla sua origine e sulle motivazioni storiche che ne hanno permesso lo sviluppo e il permanere nel tempo.

Il secondo ambito trattato, si riferisce agli stili architettonici che si susseguono a Milano nel corso della storia, al fenomeno dell'housing e dell'abitazione tipica milanese.

Si riportano i riferimenti progettuali per quanto riguarda diversi autori operanti a Milano, con particolare riferimento alla loro risoluzione dell'inserimento degli edifici nel contesto storico della città e alle loro scelte cromatiche.

Scelta la destinazione d'uso dell'edificio, è stato inoltre ritenuto necessario lo studio della tipologia della residenza per studenti sia da un punto di vista storico, sia considerando esempi moderni di buona architettura, al fine di ottenere dei punti fermi per la progettazione.

Questo capitolo, vuole mostrare come alla base del progetto, ci sia una volontà di integrazione dello stesso con il contesto, evitando elementi di contrasto, ma allo stesso tempo dandogli un'identità propria forte che lo renda riconoscibile in esso.

Infine, le analisi hanno riguardato anche gli aspetti climatici dell'area di progetto ed i requisiti tecnologici ed energetici che, in base alla collocazione geografica, dovranno essere garantiti dall'edificio.

2.1 ANALISI DEL CONTESTO

2.1.1 L'AREA DI PROGETTO

L'area dove è collocato il progetto si trova, come già accennato, in Via Palermo 19, nel quartiere di Brera, nel centro di Milano.

In particolare, l'area, rientra a far parte della zona individuata dal PGT come "A e B di recupero". [Rif. Figura 23]

Il sito in oggetto è a stretto contatto con il nucleo storico consolidato e circondato da zone che necessitano di interventi di recupero.

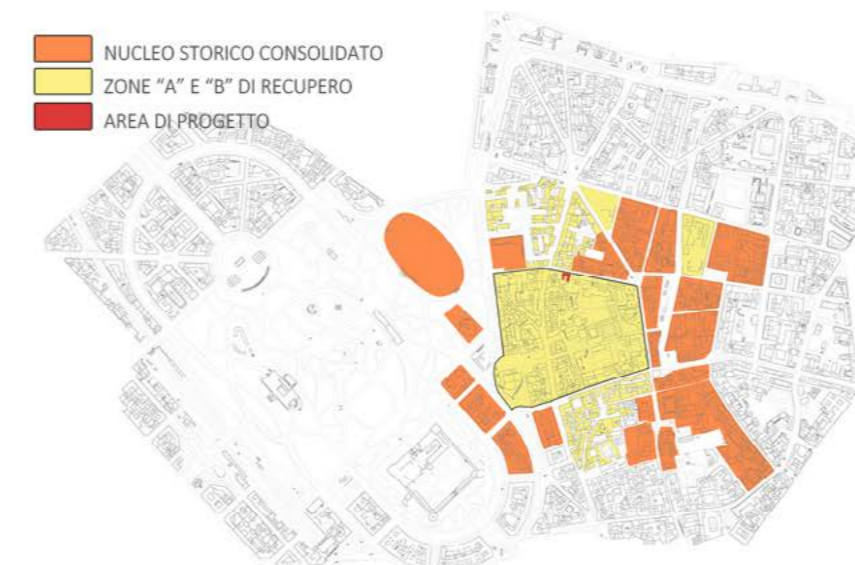


Fig.23 Individuazione ambiti territoriali omogenei.

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

Le suddette aree di recupero si caratterizzano per la presenza di vuoti urbani, ossia piccole aree dismesse (veri e propri spazi vuoti o contenenti rovine di edifici preesistenti) tendenzialmente circondate lungo il perimetro da edifici in stretta relazione con il patrimonio storico-architettonico della città. Il lotto, in particolare, rappresenta un vuoto urbano originariamente occupato da un edificio demolito dai bombardamenti durante la guerra.



Fig.24 Vista aerea dell'area di progetto.

Attualmente l'area, di circa 700 m², è delimitata da un muro, per quanto riguarda le parti che si affacciano sulle strade, e dagli edifici circostanti con le relative corti sugli altri lati.

La peculiarità del lotto in esame è la collocazione all'angolo tra due strade, ed allo stesso tempo in continuità con il fronte stradale esistente. Questo implica la necessità di integrazione della nuova costruzione con la realtà esistente, creando anche un elemento di riqualificazione, soprattutto per quanto riguarda la via a fondo cieco ortogonale a Via Palermo, sulla quale il lotto si affaccia.

Quest'ultima è la strada principale che porta al lotto, è larga quasi 8 m e ad un unico senso di marcia. Essa collega Corso Garibaldi a Via Statuto e Via Solferino che porta verso il centro della città. L'altra strada che delimita il confine è, come

detto, a fondo cieco ed ha un'ampiezza di circa 7 m.

La zona è caratterizzata prevalentemente da edifici storici con un basamento in bugnato e rivestimenti dei piani superiori ad intonaco. I piani terra di tali fabbricati sono occupati da attività commerciali con ampie vetrine e le architetture presenti hanno una certa regolarità negli allineamenti e nello scandire dei diversi livelli.

Sono presenti infine degli spazi verdi frontalmente all'area, in parte di pertinenza dell'edificio accanto, in parte pubbliche ma né attrezzate né valorizzate.

Per quanto riguarda l'area sono stati effettuati dei rilievi che si riporteranno nelle immagini di seguito.

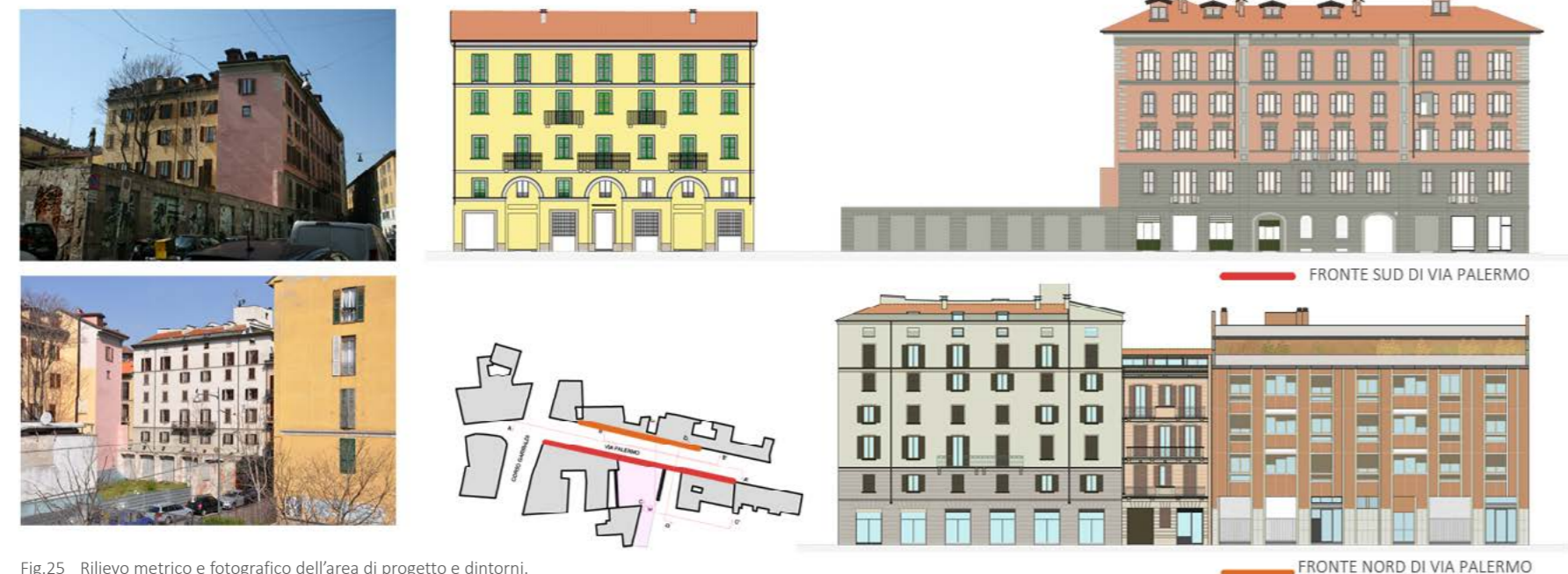


Fig.25 Rilievo metrico e fotografico dell'area di progetto e dintorni.

2.1.2 SVILUPPO URBANISTICO

2.1.2.1 MILANO ATTRAVERSO I PIANI URBANISTICI

Attraverso alcune mappe storiche, di seguito si ricostruirà lo sviluppo storico della città di Milano.

La prima carta che si propone è una ricostruzione del '900 dell'espansione della città tra il III sec. a.C. e il XIII d.C. che spiega molto bene come l'impianto romano a forma quadrata, venga completamente sostituito nel medioevo, quando, per questioni di protezione su tutte le vie di accesso, si è preferito sviluppare una città radiocentrica, circondata dall'acqua dei Navigli e da mura permeabili solo in corrispondenza delle principali vie di collegamento di Milano con il resto della Lombardia e d'Italia. Le porte d'accesso sono sei e in senso orario sono: P.ta Comasina; P.ta Nuova; P.ta Orientale; P.ta Romana; P.ta Ticinese; P.ta Vercellina.

La prima mappa di Milano effettuata seguendo un metodo di rilievo con rigore scientifico, risale al 1573; l'autore è Antonio Lafrery e riporta la città entro le mura più esterne, le mura spagnole. L'abitato satura lo spazio entro le vecchie mura, lasciando più libero quello tra il Naviglio e quelle nuove. Inoltre si vede che delle vecchie mura rimane solo il Naviglio che le circonda. Sono praticamente scomparse le costruzioni romane a favore di due grandi opere, il Castello e il Lazzaretto.

Il primo esempio di Piano Regolatore per Milano (non viene però riconosciuto come tale), nasce per volere di Napoleone Bonaparte. Nella topografia tracciata da Pinchetti nel 1801, è evidente la volontà di abbattere le mura a forma di stella del Castello Sforzesco, sostituendole con un nuovo impianto circolare, e l'idea di

creare una nuova strada di collegamento tra Milano e Parigi. Questo programma viene rispettato per quanto riguarda l'abbattimento delle mura e la formazione della strada, ovvero Corso Sempione, che si conclude con Piazza delle Armi, dietro al Castello. Nel 1807, lo stesso Pinchetti, disegna un nuovo Piano dove prevede un giardino con alberi davanti al castello, piante e vialetti, disegnato dal Canonica. Tra le strade, esclusivamente dritte, la più importante attraversa la città dal Castello fino all'Ospedale Maggiore. Restano però irrisolte la piazza del Duomo e l'area del Lazzaretto, ormai dismesso.

Nemmeno con gli Austriaci dell'Ottocento vengono previsti piani di sviluppo e tutto quello che di nuovo si costruisce nasce da esigenze momentanee e senza studi preliminari. Per questioni politiche e di traffico, lo sviluppo maggiore si può notare nel quadrante Nord-Est, con la creazione di nuove vie maestre (oggi Corso Venezia e V.le Monza). Verso la fine della dominazione, nel 1860, le due opere più importanti al di fuori dei bastioni sono il Cimitero Monumentale e la Stazione Centrale.

Dal 1861, con l'Unità d'Italia, i milanesi portano avanti un rinnovamento della città, cercando di adattarla a nuovi bisogni dati dalla grande crescita di abitanti. Se pur non pianificata su carta, l'intenzione è quella di sviluppare maggiormente l'asse Nord-Sud della città. In questo periodo Giuseppe Mengoni vince il concorso per la realizzazione della Galleria Vittorio Emanuele, e il progetto della Piazza Duomo, completata però solo alla fine del secolo.

Nel 1876 iniziano i lavori per la costruzione della Ferrovia Nord, oggi Stazione Garibaldi; questo evento, congiunto alla creazione delle nuove arterie e della galleria pedonale, danno inizio allo sviluppo di Brera vista come è oggi, con botteghe, servizi commerciali e luoghi di incontro. Nel 1884 è affidata a Cesare Beruto la stesura di un Piano Regolatore per la città di Milano. Alcuni problemi di tipo urbanistico presenti sono: la ferrovia, che circonda la città e pone un ostacolo fisico

non indifferente all'espansione residenziale; l'area della Piazza d'Armi che rimane senza destinazione d'uso. Gli studi preliminari effettuati da Beruto confermano come l'area migliore per lo sviluppo della città resti quella Nord, Nord-Ovest, ed infatti, nel suo piano indirizza l'espansione di Milano in quella direzione. Il Comune non adotta il piano del Beruto ma gli affida comunque l'incarico di inquadrare l'espansione urbana al Nord-Ovest. Sono allora realizzati: la nuova Piazza d'Armi, giardini all'inglese come Parco Sempione, una serie di strade, piazze e rotonde che suddividono in lotti regolari l'area intorno a Corso Sempione.

Nel 1909, dato l'imprevisto incremento demografico, si deve pensare ad un nuovo Piano Regolatore affidato all'ing. Pavia, sotto la responsabilità dell'ing. Masera. La trama è a ragnatela e lo sviluppo avviene con l'aggiunta di una fascia che tende a riempire tutto lo spazio vuoto tra la circonvallazione esterna e la nuova cintura ferroviaria. Inoltre, nel piano è prevista la realizzazione di nuove strade che vengono tracciate tagliando o eliminando completamente molti giardini privati.

Dopo la Prima guerra mondiale c'è una ripresa dello sviluppo demografico interrotto durante la stessa. Questo incremento è tanto significativo da dover provvedere all'espansione della città con l'aggregazione di undici comuni (1923), senza un piano generale. Con il fascismo, nel 1927, è indetto un concorso per la stesura di un Piano Regolatore conforme ai tempi e all'evoluzione della città. Il concorso è vinto da Piero Portaluppi e da Marco Semenza; successivamente, la redazione del Piano Regolatore definitivo è affidata all'ing. Cesare Albertini. Il piano rimane monocentrico come i precedenti. Albertini dà importanza primaria alle vie di Circonvallazione. Lo schema circolatorio più interno, è caratterizzato anch'esso da una strada ad andamento anulare, detta strada di scarico; questa è collegata al centro attraverso le radiali già esistenti, esclusa via Dante, che collega direttamente il castello con la piazza Duomo; tale strada di scarico è invece collegata alla circolare più esterna attraverso strade riqualficate e rinnovate, tra cui Via San Marco e Via Legnano che si trovano agli estremi di Via Palermo (Largo Claudio Treves).

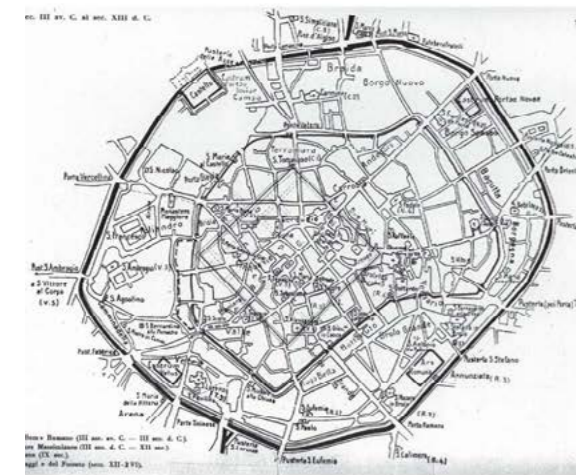


Fig.26 Milano tra il III sec.a.C. al XIII sec.d.C.



Fig.27 Mappa del 1573 di Antonio Lafrery.

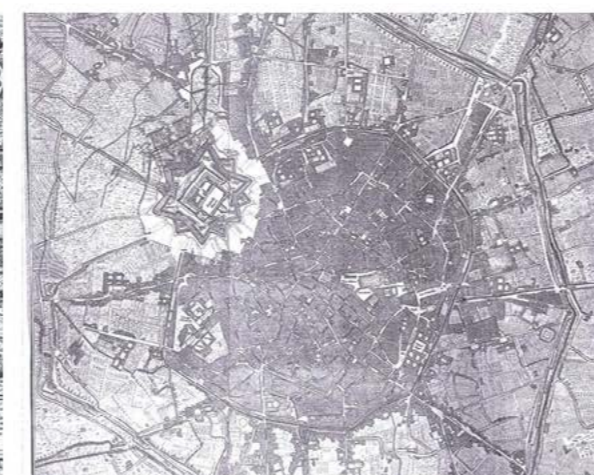


Fig.28 Mappa del 1735 di Marcantonio dal Re.



Fig.29 Piano Regolatore di Milano 1801, Pinchetti.



Fig.30 Piano Regolatore di Milano 1807, Pinchetti.



Fig.31 Interventi tra il 1860 e il 1885.



Fig.32 Piano Beruto 1889.



Fig.33 Piano Masera 1912.

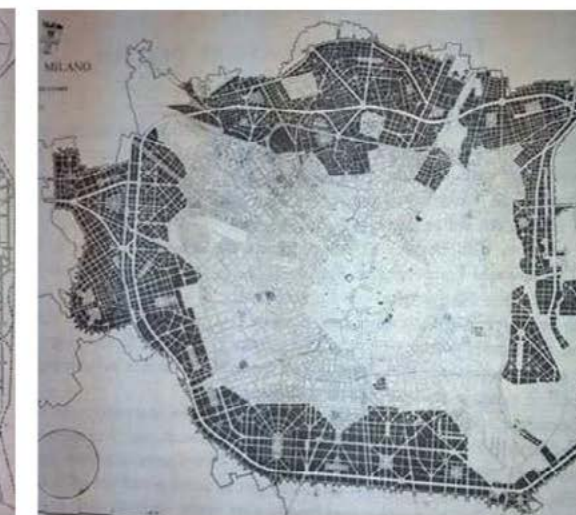


Fig.34 Piano Albertini 1934.



Fig.35 Piano Pavia-Masera: quadrante di zona Brera. L'area di progetto è evidenziata in rosso, 1912.



Fig.36 Piano Albertini: quadrante di zona Brera. L'area di progetto è evidenziata in rosso, 1934.

2.1.2.2 I CATASTI E LA CITTA'

Di seguito si riprendono le evoluzioni della città osservando il susseguirsi dei documenti catastali storici.

CATASTO TERESIANO (1720-1723)

La città di Milano è rilevata rispettando le diverse Giurisdizioni nella quale è suddivisa. Nella mappa della Giurisdizione di Porta Comasina, si riesce a leggere la conformazione del quartiere, sviluppato lungo l'asse Nord-Sud alla destra del castello spagnolo. Il percorso viario principale è Corso di Porta Comasina, oggi Corso Garibaldi, sul quale si affacciano diversi fabbricati.



Fig.37 Catasto Teresiano, copia 1751.

Fig.38 Catasto Lombardo-Veneto, 1855.

Fig.39 Nuovo Catasto Terreni, 1894-1902.

CATASTO LOMBARDO VENETO (1855)

Nel 1855 è richiesto un nuovo rilievo dei fabbricati nel territorio Lombardo con cui l'area viene suddivisa in 39 parti uguali. Si può leggere lo sviluppo nella città su nuovi assi viari, prevalentemente circolari, i quali connettono i percorsi radiali già presenti nel catasto Teresiano. Nonostante ciò il profilo delle mura rimane ancora invariato. Si nota la nuova conformazione degli spazi intorno al castello, con alle spalle Piazza d'Armi e l'Arena, il grande giardino all'inglese in prossimità di porta Venezia ed il disegno definitivo di Piazza Duomo e della Galleria Garibaldi.

CATASTO CESSATO (1898)

L'ultima cartografia considerata è il Nuovo Catasto Terreni. In questa mappa si può notare la grande densità dei fabbricati. Si vede il disegno del parco Sempione, la realizzazione di nuove strade che rafforzano lo schema precedente definendo assi principali di dimensioni maggiori e strade di servizio più contenute.

2.1.2.3 I CATASTI E BRERA

Dallo studio e dall'analisi dei catasti storici, emergono alcune considerazioni importanti riguardanti la zona di Brera, ovvero l'area comprendente il lotto di progetto. Si può notare come fin dal 1721, nel Catasto Teresiano sia già presente il Corso di Porta Comasina, oggi Corso Giuseppe Garibaldi, il quale taglia l'intera zona Brera. Lungo questo tracciato, successivamente, si sviluppano abitazioni allineate lungo la strada principale, delimitata da edifici con un fronte ridotto sulla strada ma allungati verso l'interno dell'isolato.

Tali costruzioni hanno in genere il piano terra adibito ad attività artigianali e commerciali ed il piano superiore residenziale, e si sviluppano intorno a corti su stretti lotti gotici.

La ridotta estensione territoriale del quartiere è causata da alcuni condizionamenti del prospiciente margine urbano: la porzione occidentale del quartiere viene demolita per far posto all'Arena ed al Castello Sforzesco (XIV secolo) compresa l'area di rispetto che lo circondava.

Ampie proprietà religiose, molte delle quali soppresse in epoca napoleonica, rappresentano a lungo la peculiarità funzionale e fisica del quartiere. Gli spazi aperti dei manufatti religiosi e dei palazzi nobiliari, come giardini, cortili ed orti, contraddistinguono il quartiere. Esso ha un ruolo commerciale, di mercato, poiché è in rapporto diretto con il contado. Agli inizi dell'Ottocento si insediano nel tessuto urbano diverse attività produttive e, di conseguenza, le abitazioni per i ceti popolari. La domanda di abitazioni operaie modifica l'originaria tipologia urbana, aggiungendo corpi edilizi con ballatoi nelle parti interne e nuovi edifici che sostituiscono l'originario tessuto mercantile. Lo sfruttamento intensivo delle aree interne agli isolati avviene soprattutto con l'apertura di alcune strade dopo il 1850: le vie Solferino, Palermo, Statuto, Marsala, Milazzo.

L'abbattimento delle mura spagnole, nonché la copertura dei Navigli, danno un nuovo impulso alle trasformazioni, modificando il tessuto fra i Navigli e i bastioni: da fabbriche e case popolari a tessuto terziario. Il quartiere di Brera prende nome dalla via omonima che attraversa, in direzione Nord, il settore del centro storico. È un quartiere caratterizzato da funzioni culturali e artistiche, che hanno portato alla realizzazione di residenze per ceti medio-alti.

La specializzazione in ambito culturale nasce con l'Accademia di Brera, fondata nel 1776 sotto il regno di Maria Teresa d'Austria. Il nome Brera deriva da "braida", termine di origine germanica per indicare uno spiazzo erboso, come era Brera in quel periodo. Il tessuto urbano del quartiere si presenta più denso rispetto alla zona di corso Garibaldi, anche a seguito della Ricostruzione per le distruzioni belliche.

Le diramazioni secondarie all'asse di Corso Garibaldi, tra le quali Via Palermo, la via dove si affaccia il progetto, vengono aperte solo successivamente al 1850, come si può notare dal Catasto Lombardo-Veneto del 1855. Dal confronto tra questo ed il catasto Teresiano del 1721, si può notare come la Basilica di San Smplicio fosse già presente, in quest'ultimo, con il suo impianto attuale, mentre l'area di progetto in via Palermo inizia ad esserci solo dopo il 1850.

Sono riscontrabili anche diversi edifici di nuova costruzione, come l'edificio a cortina lungo l'asse di via Palermo e nella parte retrostante un enorme parco di sua pertinenza. Si nota anche la nascita dell'intero isolato e di Piazza Treves.

Nel Catasto Cessato nel 1898 è sempre presente l'edificio appartenente all'area di intervento ma viene ridefinito l'isolato con l'inserimento del nuovo tracciato, Via Statuto, che taglia l'intero quartiere collegando Piazza Moscova con Piazza Treves. Si può vedere anche che una parte dell'edificio a cortina viene demolita e ridefinita secondo diversi volumi.



Fig.40 Catasto Teresiano 1721.



Fig.41 Catasto Lombardo-Veneto 1855.



Fig.42 Catasto Cessato 1898.

2.1.3 ANALISI DEI SERVIZI

L'analisi urbanistica dell'area di progetto del suo intorno di seguito riportata è stata impostata verso l'individuazione dei servizi urbanistici presenti nella zona, con particolare riferimento all'intorno immediato individuato da un raggio di azione di circa 1 km. La distanza è stata scelta in relazione alla raggiungibilità e quindi all'accessibilità dei servizi stessi. Sono stati quindi considerati: supermercati e centri commerciali, istituti di istruzione primaria e vicinanza con i centri universitari milanesi, parcheggi, aree verdi, viabilità e trasporti.

Le analisi urbanistiche sono state effettuate in base al *Piano dei Servizi, Allegato S_01/SD, S_02/SD, S_01/2D e S_02/2D* del PGT di Milano, e approfondite con un sopralluogo e con strumenti informatici come ad esempio Google Earth.

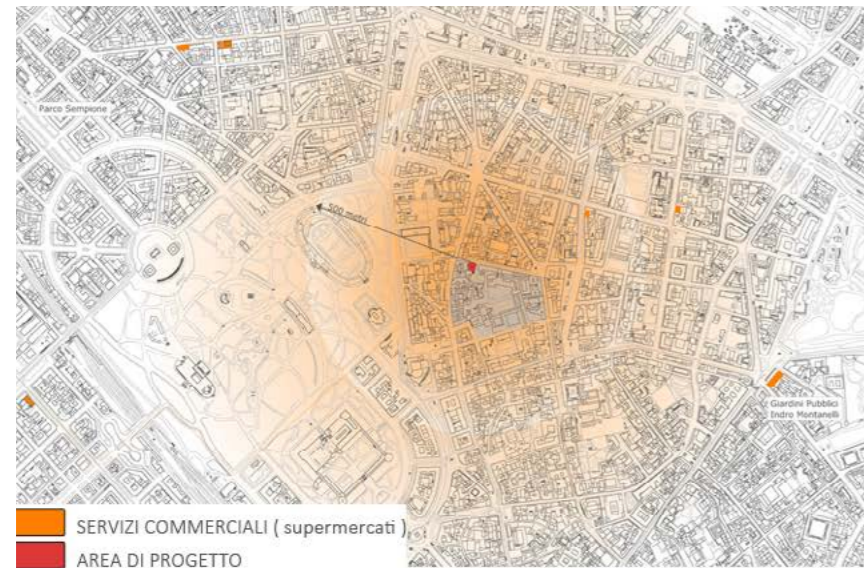


Fig.43 Individuazione servizi commerciali.

L'analisi dei supermercati e dei centri commerciali [Rif. Figura 43], ha portato all'individuazione di un solo elemento nell'arco di 500 m, seguito da un paio di attività nel raggio di azione di 1 km. Considerando che nell'analisi in questione non rientrano attività artigianali come panifici, bar e simili, l'area può definirsi comunque fornita per quanto riguarda i beni di prima necessità.

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

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

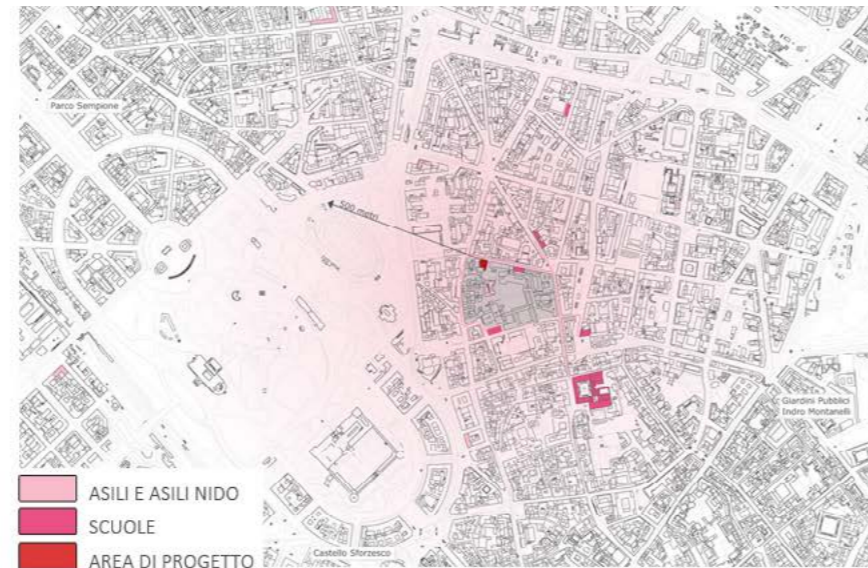


Fig.44 Individuazione istituti di istruzione.

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

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

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

Tab.03 Distanza dell'area di progetto dai vari poli universitari milanesi.

ISTITUTO	DISTANZA
	km
Università Statale	2,0
Università Cattolica	1,9
Politecnico di Milano (Piola)	4,6
Politecnico di Milano (Bovisa)	4,6
Università Bicocca	5,2
Università Bocconi	3,6
Accademia di Brera	0,45

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

Successivamente sono stati individuati i parcheggi esistenti intorno a Via Palermo e le aree verdi disponibili nelle vicinanze della stessa.

L'area vicina a Via Palermo risulta ben fornita di parcheggi [Rif. Figura 45]. Si tratta principalmente di parcheggi a pagamento interrati o compresi in apposite strutture, solitamente di proprietà privata. Solo in alcuni casi limitati sono presenti parcheggi pubblici, sempre a pagamento, di superficie.

Ultima, non per importanza, è l'analisi degli spazi verdi che coronano l'area di progetto, [Rif. Figura 47]. Oltre ad un paio di piccoli spazi verdi, pubblici, distribuiti nelle immediate vicinanze di Via Palermo, nell'arco di 1 Km si trovano altre modeste aree verdi. Fra queste spicca il Giardino Botanico dell'Accademia di Brera.

Di maggior rilievo, per entità dimensionale e quindi per servizi offerti, sono invece i due grandi polmoni verdi costituiti da Parco Sempione e dai Giardini Pubblici Indro Montanelli. Queste due grandi aree non si configurano solamente come spazi verdi ma bensì come dei veri e propri parchi urbani completi di servizi per l'utenza ed ospitanti parte del patrimonio architettonico-culturale milanese.

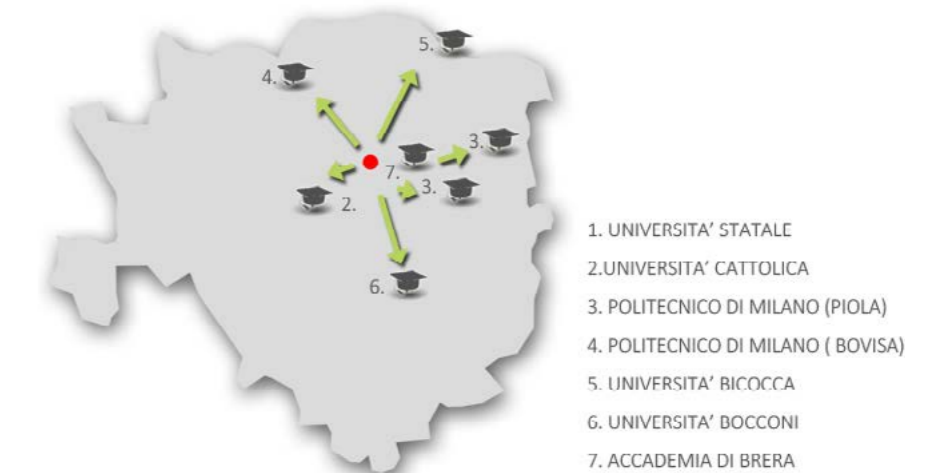


Fig.45 Vicinanza alle università milanesi.



Fig.46 Individuazione aree destinate a parcheggio.



Fig.47 Individuazione aree verdi.

2.1.4 TRASPORTI E VIABILITA'

Data la dimensione e l'importanza economico-sociale della città di Milano, le problematiche del trasporto e della viabilità hanno notevole rilievo per capire la struttura e i collegamenti interni tra le varie zone del nucleo urbano ma anche per comprendere come lo stesso si connette all'esterno sia a livello nazionale che internazionale. Per quanto riguarda la rete stradale che interessa Milano, si può osservare che a Nord e a Sud della città si sviluppano le reti autostradali collegate dalle strade tangenziali che circonda la città. Oltre a queste, sono presenti varie vie di penetrazione radiale che collegano il centro con aree extracomunali.

Milano è fornita inoltre di tre aeroporti (Malpensa, Linate ed Orio al Serio) raggiungibili anche mediante i trasporti pubblici. Le tre stazioni principali della città, che si trovano in una zona abbastanza centrale, sono Cadorna, Porta Garibaldi e Centrale. Quest'ultima rappresenta il punto di partenza principale per tratte di lunga percorrenza, ed in da qui passano due linee di treni ad alta velocità, ovvero Milano-Torino e Milano-Bologna. Altre stazioni ferroviarie cittadine secondarie sono Lambrate, Porta Genova, Porta Vittoria e Rogoredo. La città presenta inoltre un passante ferroviario sotterraneo che attraversa la città da Nord-Ovest (Certosa e Bovisa) a Sud-Est (Rogoredo). Esso collega i due estremi opposti della città ed integra il servizio delle tre linee metropolitane cittadine.

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

Alla luce delle considerazioni generali fatte fin'ora è possibile soffermarsi sulle relazioni ed i collegamenti viabilisti e di trasporto pubblico dell'area di progetto. Data la posizione all'interno della città, è possibile raggiungere la rete stradale primaria tramite la circolare viale L. Manjo, passando per viale Corsica ed infine per la via di penetrazione principale viale Forlanini [Rif. Figura 48].

Per quanto riguarda il trasporto pubblico [Rif. Figura 49] l'area risulta ben fornita. In particolare nei dintorni si trovano tre stazioni della metropolitana, Turati (linea gialla M3), Moscova e Lanza, Brera Piccolo Teatro (linea verde M 2) di cui la più vicina è Moscova (300 m) mentre la più lontana è Turati (800 m). Da tali fermate è possibile raggiungere in pochi minuti le tre stazioni ferroviarie principali della città, poiché si trovano sulle linee che passano in adiacenza all'area di progetto. In aggiunta alle stazioni della linea metropolitana sono presenti 5 fermate della linea dei tram ovvero Legnano Arena, Buonaparte-Lanza, Cavour, Donegani Moscova e Turati Donegani. Né le linee sotterranee né quelle fuori terra creano problemi al lotto poiché si sviluppano parallelamente ai lati opposti di esso.

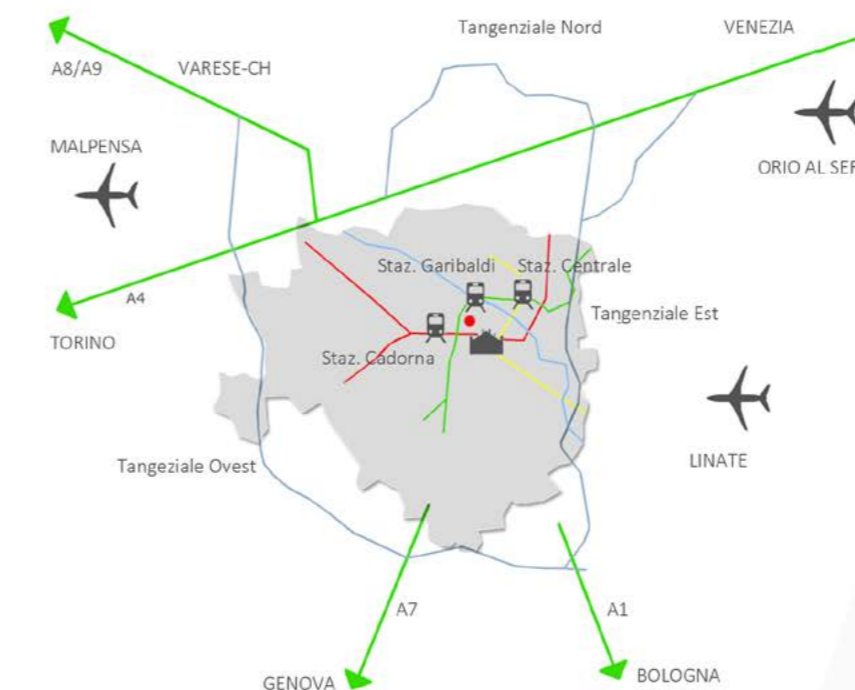


Fig.48 Viabilità a macroscala.

Sono state calcolate le distanze e le tempistiche per raggiungere tali aree utilizzando auto, mezzi pubblici e procedendo a piedi.

Tab.04 Distanza dell'area di progetto dai punti di interesse.

PUNTO DI INTERESSE	AUTO		PIEDI		MEZZI PUBBLICI
	MINUTI	Km	MINUTI	Km	MINUTI
Duomo	11	2	23	1,5	25
Staz. Centrale	8	3,5	33	2	30
Staz. P. Garibaldi	4	1,7	22	1,5	20
Staz. Cadorna	6	2	17	1,2	30
Areop. Malpensa	41	44	-	-	70÷90
Areop. Linate	30	17	-	-	60
Areop. Orio Al Serio	42	53	-	-	100

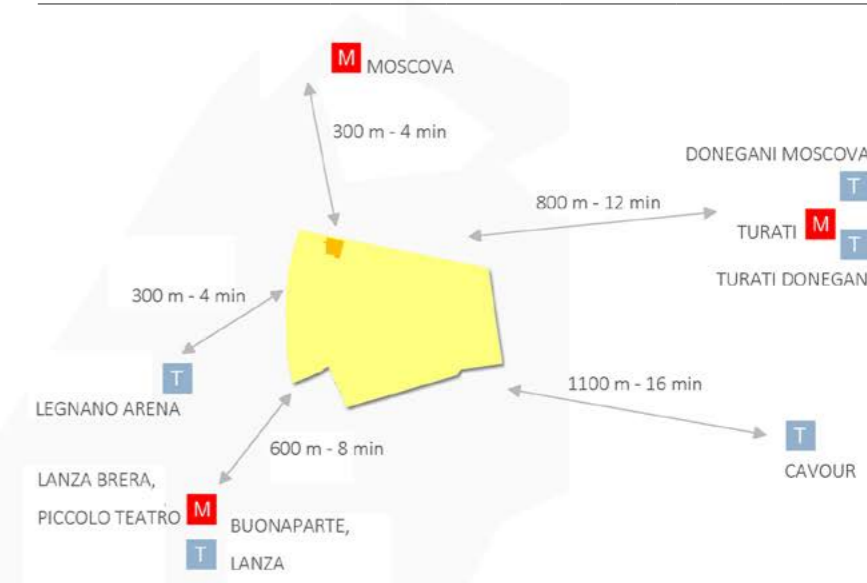


Fig.49 Trasporto pubblico e area di progetto.

2.1.5 ANALISI SOCIALE E CULTURALE

Per identificare la tipologia di servizi che potrebbero meglio soddisfare le necessità degli abitanti e dei fruitori della zona in cui si trova l'area di progetto, è stata eseguita un'analisi a livello sociale attraverso la quale sono stati considerati tutti i servizi e i luoghi di aggregazione in ambito culturale. Sono state tracciate tre aree circolari concentriche, centrate sul lotto, al fine di rappresentare la distanza di percorrenza pedonale fra i vari servizi e il sito in oggetto, ed individuare di conseguenza i servizi già presenti e facilmente raggiungibili. Le circonferenze così tracciate indicano il tempo necessario a percorrere le distanze a passo lento e rappresentano in crescendo 5 minuti, 10 minuti e 15 minuti [Rif. Figura 50].

- Area 1 (5 minuti): l'area racchiude in se un elevato numero di gallerie d'arte, la cui presenza è motivata dalla vicinanza con l'Accademia delle Belle Arti; in questa prima area si trova anche il primo di molti luoghi di culto;
- area 2 (10 minuti): con la seconda zona quasi si completa la lista dei servizi disponibili nelle vicinanze del lotto; comprende infatti, oltre a numerose chiese e a cinque istituti scolastici, tra medie e secondarie superiori, l'Accademia delle Belle Arti di Brera; ad Est del lotto, appena fuori dall'area in oggetto, si trova l'arena civica Giovanni Brera e, poco più, il castello Sforzesco e il foro Bonaparte;
- Area 3 (15 minuti): quest'area conferma l'indirizzo prevalentemente artistico che caratterizza la zona a partire dai diversi teatri presenti nella parte Sud; si riscontra anche la presenza di molte scuole secondarie superiori tra cui un liceo artistico. Aumenta il numero delle attività espositive e delle fondazioni; anche la sede della Triennale di Milano e il suo parco in direzione Sud-Est sono situati entro il perimetro della zona tre; l'analisi si può concludere sottolineando la presenza di altre architetture caratterizzate da un'importante connotazione culturale, una su tutte il cimitero monumentale al limitare dell'area verso Nord.

Inoltre, si è cercato di capire quali fossero, le varie attività già presenti nelle vicinanze del sito di progetto, considerando un'area centrata nello stesso ed avente raggio di 500 m. La suddivisione delle attività commerciali è stata fatta considerando le peculiarità della zona. Sono state rilevate le seguenti attività: attività di lusso, attività di quartiere, bar e pub, discoteche, ristoranti, uffici, hotel. Si riportano i dati numerici ricavati per tali categorie

Tab.05 Attività presenti nell'area in esame.

ATTIVITA'	NUMERO	ATTIVITA'	NUMERO
Attività di lusso	20	Discoteche	4
Attività di quartiere	350	Ristoranti	79
Bar e Pub	56	Uffici	31

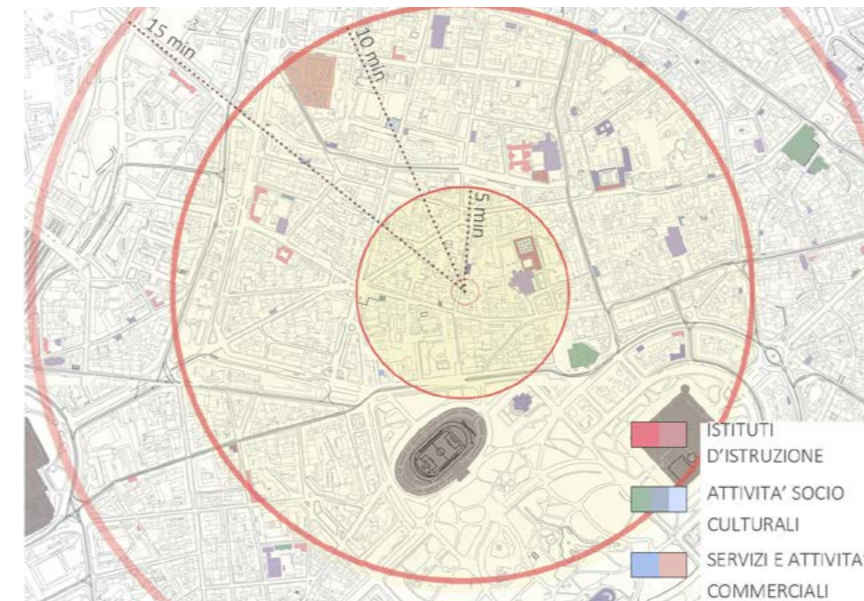


Fig.50 Attività presenti nel contesto in rapporto con le distanze dall'area di progetto.

2.1.6 IL DESIGN A MILANO

E' importante capire perché proprio Milano, si è distinta in Italia per la tradizione del design. Tali motivazioni sono da ricercare nella storia della città.

Innanzitutto è necessario mettere in evidenza la vocazione milanese ad essere storicamente una grande città commerciale, crocevia di importanti strade mercantili. Di conseguenza l'area di Milano si è specializzata nella trasformazione di molte materie prime, soprattutto per il consumo domestico e per quanto riguarda i beni non di prima necessità. Per questo motivo, si sono diffusi nella città, già a partire dal XIV secolo, numerosi e vivaci laboratori artigianali, dalle continue istanze innovative. Quindi a Milano si trova storicamente un'attitudine commerciale dinamica e creativa; è necessario anche sottolineare la presenza di un artigianato evoluto precursore di quella flessibilità produttiva, soprattutto per i mercati di nicchia, che tanto ha caratterizzato il successo del Made in Italy; da non dimenticare è anche la conseguente nascita di una progettualità, fortemente connotata da una cultura industriale che si applica alla nuova piccola e media industria derivata da tutti questi fattori. Da tutte queste condizioni si può leggere la nascente cultura del design. Essa si può definire come una particolare inclinazione di progetto messa al servizio delle dinamiche industriali.

La storia industriale di Milano e dell'area economica che al capoluogo lombardo fa riferimento, mostra come le iniziative più capaci di espandersi sul lungo periodo sono quelle che sono state in grado di evitare la completa serialità ed omogeneizzazione ma che al contempo hanno saputo uscire da una visione strettamente artigiana e conservatrice. Un esempio è nella Milano ottocentesca, quando la città ha guardato oltre i propri confini, verso i contesti ricchi di iniziative presenti in Europa. Il contatto con queste realtà si trasforma in movimenti di persone e in arricchimento dal punto di vista delle conoscenze. In questo periodo Milano at-

trae talenti imprenditoriali, tecnici ed operai specializzati. Questa è la città che in tempi recenti ha richiamato da diversi paesi del mondo, i più brillanti progettisti, designer e grafici. Si può dire, quindi, che Milano continua ad essere il laboratorio progettuale e produttivo del design italiano. Questo risultato si deve quindi all'apertura culturale, in grado di accogliere tutte le energie più vive sia nei campi creativi e intellettuali sia nei campi imprenditoriali e commerciali ed allo stesso tempo deriva dalla capacità di unire queste potenzialità in imprese che possono essere considerate come dei veri e propri laboratori di ricerca per l'innovazione.

La cultura del design a Milano oggi è sempre più una cultura cosmopolita, modello per molti progettisti stranieri. La forza di questo laboratorio di idee è la flessibilità, ovvero la mancanza di un programma prestabilito. Dai primi anni '50 sino alla metà degli anni '70, lo stimolo è nato proprio dal fatto che non esiste una scuola specifica dedicata all'industrial design. Appare evidente come gli elementi primari da preservare siano la libera ricerca creativa fondata, su visioni ideali e lo spirito imprenditoriale che permette la presenza della sperimentazione artigianale.

Durante i primi anni immediatamente successivi alla seconda guerra mondiale, lo scenario italiano si presenta ricco di opportunità nate dall'esigenza di creare oggetti di nuova concezione per riportare la qualità della vita ai livelli precedenti la guerra. Considerando il basso costo della manodopera e dei materiali, insieme ad una cultura italiana basata sulla tradizione delle Belle Arti e di un abile artigianato, i primi decenni dopo il 1945 il design italiano si sviluppa intensamente.

Designers come Marco Zanuso, Ettore Sottsass e Achille Castiglioni beneficiano della fortunosa combinazione storica creando prodotti innovativi di altissimo valore, ma, soprattutto, evolvendo un metodo di approccio progettuale diverso, funzionalista e minimalista, palesemente percepibile osservando i loro prodotti e sicuramente sintomo di una svolta precorritrice del design, questa volta inteso come progettazione e creazione. Si riporta il caso di Achille Castiglioni.

2.1.6.1 ACHILLE CASTIGLIONI

Achille Castiglioni nasce a Milano il 16 Febbraio 1918. Si laurea in Architettura nel 1944, ma sin dal 1940 si dedica alla sperimentazione sul prodotto industriale insieme ai suoi fratelli. Il padre è scultore ed in generale la sua famiglia influenza molto la sua carriera professionale. Infatti, oltre ad aver la possibilità di approcciare il design industriale prima della sua laurea, collabora con i fratelli instaurando un rapporto professionale tale da portare Castiglioni stesso a definire molte delle sue opere come un lavoro di team.

Il suo scopo è quello di trasmettere, anche ai suoi studenti il nuovo metodo funzionalista sul quale è basata tutta la sua opera. Castiglioni mostra la semplicità di oggetti apparentemente banali, mettendo così in evidenza la purezza della relazione tra forma e funzione. Ciò che emerge dalle opere di Castiglioni, non è lo stile, il gusto, l'estetica, nè la tecnologia e il design del prodotto, ma si

nota l'importanza del metodo, che egli stesso applica, sostenendo che un buon progetto nasce dalla volontà di instaurare uno scambio con l'utente finale, anche ignoto, che utilizzerà quel prodotto. Il suo metodo compositivo è basato quindi sull'analisi delle funzioni, che considera una fase della progettazione oggettiva e deve essere seguita dalla concezione di libertà di espressione del designer.

Castiglioni spiega di non avere un'esplicita poetica, ma indica come propria costante progettuale predominante la negazione dell'esistente mediante la ricerca dell'innovazione. Egli sostiene che un processo migliorativo della vita, necessita di una critica più ampia rispetto alle sole analisi di mercato utili a migliorare un prodotto già esistente al solo scopo di aumentarne la vendita. I suoi prodotti devono essere oggetti per la comunità, quindi di concezione molto diversa da quella dell'artista che produce opere rare per sé o destinate ad un'élite. Devono essere frutto di un'approfondita ricerca che attribuisce ad ogni singolo elemento del prodotto un significato non formale, ma funzionale e percepibile dal fruitore.

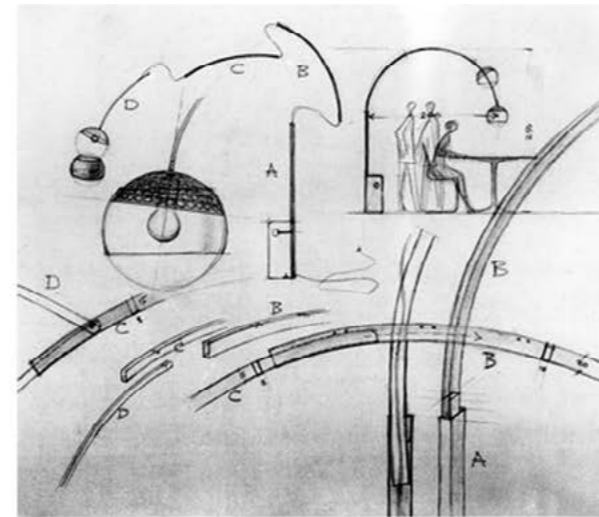


Fig.51 Lampada ad arco, Achille Casiglioni 1962

2.1.7 BRERA DESIGN DISTRICT

Brera è il quartiere che meglio esprime la forza del design e della creatività milanese. Brera è un sito storico e oggi ritenuto uno dei più vivi della città. E' un luogo ricco di fascino e di cultura, un mondo abituato a precorrere le tendenze, dove arte, moda, design si intrecciano. Un ambiente variegato, percorso da grande fermento creativo ed artistico, dove la cultura si mescola al divertimento.

Negli anni, questo quartiere è diventato il punto di riferimento del design milanese, per la presenza di diverse gallerie e showroom. La sua impronta prettamente di carattere artistico è dovuta prevalentemente alla presenza dell'accademia di Brera, che negli anni ha attirato a sé i più grandi artisti da tutto il mondo.

A Brera l'antico si mescola con la modernità e l'innovazione grazie agli edifici storici che vi si collocano, ma anche alle tendenze rinnovatrici degli ultimi anni.



Fig.52 Il cortile della Pinacoteca di Brera.

2.1.7.1 BRERA E LA STORIA

Il quartiere, sede di botteghe artigiane, ha sviluppato nel corso del tempo questa sua impronta di focolaio culturale della città, grazie a diverse istituzioni che ancora oggi vi hanno sede. L'edificio maggiormente caratterizzante l'area, è l'Accademia con la Pinacoteca annessa. L'area in cui si colloca, è occupata dopo l'anno Mille da un ordine monastico che vi insedia il proprio convento, oggi perduto.

Nel XVI secolo, su richiesta del cardinale Borromeo, viene abolita la congregazione degli Umiliati, e il convento, con i terreni adiacenti, viene affidato ai Gesuiti con l'impegno di creare delle scuole e un collegio. Intorno al 1627, Francesco Maria Richini restaura il convento e crea delle nuove aule scolastiche. La progettazione da parte Richini prevede la realizzazione di un grande cortile rettangolare a due ordini di logge serliane fino alla realizzazione dell'edificio che tuttora caratterizza ancora oggi il tessuto urbano. Elemento innovativo estraneo al progetto di Richini è l'inserimento dell'osservatorio astronomico.

Nel 1776 viene fondata e collocata nel complesso, l'Accademia delle Belle Arti per volere di Maria Teresa d'Austria, al fine di portare l'insegnamento delle Belle Arti sotto la sorveglianza pubblica e non in mano ad artigiani ed artisti. Per poter insegnare con più efficacia, l'istituto viene provvisto di opere d'arte come modelli per i suoi studenti nel 1801, quando si introduce la Pinacoteca. Il suo impianto rimane invariato fino al secondo conflitto mondiale in cui viene danneggiata. Nel 1946 incomincia la ricostruzione affidata a Portaluppi e in parte ad Albini; il Museo è rinnovato nelle sue parti mantenendo una moderata modernità. Negli anni Settanta inizia una serie di vicende che segnano la storia recente del Museo, la scarsa manutenzione e la carenza di spazi, portano alla chiusura polemica della Pinacoteca (1974). Queste manifestazioni permettono l'avvio del progetto "La Grande Brera" (1976), che punta all'ampliamento degli spazi per un Museo moderno. Da allora esso ha avuto perfezionamenti che hanno apportato un miglioramento.

2.1.7.2 BRERA OGGI

Attualmente, come detto, Brera viene considerato il distretto del Design Milanese sia per la sua storia di centro artistico internazionale ma anche grazie ad un'operazione di marketing territoriale che attraverso un sistema di comunicazione si è dedicato alla promozione delle eccellenze e dei punti di forza attivi sul territorio, intendendo arricchire la proposta culturale e l'appeal del distretto in grado di unire tradizione e innovazione nel campo diffuso del design. Nasce quindi Brera design District che, attraverso la chiave di lettura del design e della creatività, mappa così le eccellenze del settore e le mette in relazione in un sistema integrato.

Attraverso associazioni e professionisti, ha lo scopo di valorizzare l'immagine della zona e di tutelarne il patrimonio culturale.

Nel distretto di Brera vi sono più di 50 showroom di design, con marchi tra i più importanti e prestigiosi del panorama internazionale. In diversi periodi dell'anno, specialmente durante il Salone Del Mobile, il quartiere ospita un gran numero di eventi di carattere artistico-commerciale che fanno sì che molti marchi nazionali ed internazionali investano in Brera.

Essa viene scelta per i valori che rappresenta: un'area che storicamente ha valorizzato arte, buon gusto e tradizione, sede di botteghe storiche ed artigiane, dove cultura e informazione definiscono lo stile di vita e l'identità del quartiere.

Si sceglie Brera quindi perché luogo di riferimento dell'attività culturale e commerciale della città e punto di ritrovo per i turisti presenti in città.



Fig.53 Immagini di Brera design District e degli eventi del Fuorisalone.

2.2 ANALISI ARCHITETTONICHE

2.2.1 ANALISI STILISTICA E ARCHITETTONICA

A metà del Settecento Milano conserva ancora la configurazione di città radiale compresa all'interno delle antiche mura spagnole del XVI secolo. Punti cardine della città sono il Castello, il Duomo e l'Ospedale Maggiore; più distanti dal nucleo urbano si collocano il Lazzaretto e la Rotonda della Besana (il cimitero della città). Il polo culturale è l'accademia di Brera, e gli architetti che più si distinguono sono Piermarini e Pollack.

Nel 1796 gli austriaci abbandonano il territorio milanese e Napoleone fa il suo ingresso in città. Inizia per Milano un periodo di grandi celebrazioni e di progetti, destinati a trasformare ampie aree urbane ed affidati ad una generazione di architetti, detti "giacobini", provenienti dall'Emilia.

Il progressivo accentuarsi del carattere centralista della politica di Napoleone, il programma francese rivolge poi le proprie attenzioni sull'area del Castello dove si ipotizza di sostituire i fabbricati esistenti con il nuovo Foro Bonaparte. Nell'area del Castello si costruisce l'Arena, in occasione della proclamazione della Repubblica Cisalpina del 1802. Quello napoleonico è inoltre il periodo degli archi di trionfo e nel 1807 viene istituita la Commissione di Ornato, preposta alla redazione del Piano Generale di Milano e al controllo dell'edilizia pubblica e privata.

Nel 1814 Milano torna sotto il dominio austriaco, ma le iniziative sulla città non si arrestano e si acquista un nuovo atteggiamento più aperto verso i nuovi stili,

prendendo le distanze dall'antico come modello esclusivo. Le nuove architetture si fanno espressione più della borghesia e della sua capacità imprenditoriale che della volontà del potere centrale. Il periodo tra gli anni Venti e Quaranta, in particolare, è caratterizzato da prosperità economica e vivacità edilizia. Nel 1859, infatti, Milano si libera dal potere austriaco, conquistando la propria indipendenza e diventando Municipio. Si torna così a parlare della Piazza del Duomo, rimasta irrisolta. L'ampia piazza rettangolare nasce proprio in questi anni: nel 1861 viene indetto un concorso per l'area, in cui si prevede la demolizione degli antichi isolati per far posto ad una piazza attorno alla quale si dispongono nuovi edifici porticati e che sia collegata alla Scala tramite passaggio: quello che diventerà la Galleria Vittorio Emanuele II. Il progetto scelto è quello di Giuseppe Mengoni. In questo periodo nasce anche il Cimitero Monumentale.



Fig.54 Planimetria di Piazza Duomo.

Fig.55 La Galleria di Mengoni.

E' importante far notare come in questi anni si sviluppa il medievalismo di Camillo Boito con il fiorire di mattoni a vista, ghiera, terre cotte e conci in pietra, anche nell'architettura residenziale borghese.

Nel 1889 dall'ingegnere Cesare Beruto vengono stabilite alcune demolizioni per far spazio ad un collegamento diretto tra il Castello e il Duomo. Nasce così il progetto per Via Dante, in cui si nota un respiro rinascimentale ma vengono applicate nuove tecniche costruttive e di decoro. Nello stesso periodo anche la zona dell'antico Foro Bonaparte è oggetto di dibattito; alla fine, si decide di vincolare il Castello (con l'intenzione di restaurarlo) e di creare alle sue spalle un grande parco al servizio dei cittadini. Nasce così il Parco Sempione, progetto dell'architetto Emilio Alemagna. I primi decenni del XX secolo vedono imporsi sullo scenario architettonico non solo lo stile liberty, ma anche il dolce stil novo. Il gusto liberty arricchisce gli edifici milanesi di virtuosismi decorativi realizzati con cementi, ferri battuti e pitture floreali.



Fig.56 Planimetria di Parco Sempione.

Fig.57 Dettaglio liberty di Casa Galimberti, Milano.

A termine del primo conflitto mondiale a Milano si osserva un ritorno ad un'architettura di stampo classicista; alla base di tale corrente stilistica, c'è la volontà da parte della nuova generazione di architetti (Giovanni Muzio, Gio Ponti, Emilio Lancia, Giuseppe De Finetti, Alberto Alpago Novello, Ottavio Calbiati) di reagire all'orientamento accademico baroccheggiante di quegli anni, al fine di dare una nuova unità architettonica alla città sulla base degli esempi del primo Ottocento.

Nel 1926 viene istituito un concorso per il progetto di massima del Nuovo Piano Regolatore Generale e di ampliamento della città. Il piano vincitore è quello dei progettisti Piero Portaluppi e Marco Semenza, tuttavia, la redazione definitiva dello strumento urbanistico viene affidata all'ufficio tecnico comunale diretto da Cesare Albertini.

Va sottolineata la sostenibilità economica dell'intera attuazione, che prende forma a cavallo della grande crisi economica internazionale del secondo ventennio del Novecento. La debolezza degli strumenti urbanistici fa sì che l'espansione urbana di interi settori, oltre le mura spagnole, sia caratterizzata in prevalenza dalla tipologia condominiale a blocco intensivo e, soprattutto, dall'eliminazione di elementi peculiari del tessuto urbano (le mura, i navigli, i giardini). I principali interventi di riqualificazione del centro sono individuabili in un sistema attorno alla zona del Duomo: l'area a Sud, Est, Nord-Est della stessa Piazza Duomo, la sistemazione di Piazza San Babila, il nuovo palazzo di Giustizia sul corso di Porta Vittoria, il Palazzo dei Sindacati fascisti, il "quartiere degli Affari" e la nuova Borsa nei pressi di Piazza Cordusio, il riassetto del sistema ferroviario principale interno con il concorso per la Nuova Stazione Centrale e il relativo schema di accesso alla città, i lavori per la tombatura dell'anello dei Navigli.

In questo periodo, in contrasto con l'accentuata monumentalità espressa dal gruppo Novecento, la presenza dei giovani architetti razionalisti non riesce, salvo sporadiche eccezioni, in quel rinnovamento della progettazione architettonica ed

urbanistica che interessa con successo altre realtà europee; si limita all'impaginazione delle facciate esterne senza modificare sostanzialmente la conformazione dei tipi di edifici, sostenendo una ricerca formale e non tipologica.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, le condizioni economiche, sociali e politiche hanno vissuto una profonda trasformazione rispetto all'epoca primo-novecentesca. Subentra un'interpretazione progettuale assai variegata ed eterogenea, caratterizzata da una ricca molteplicità di linguaggi. Questo cambiamento, non assume tuttavia nella città di Milano quella spettacolarità che invece caratterizza alcuni progetti in Europa e nel mondo. Il panorama costruttivo della nuova città appare infatti composto da un articolato campionario di interventi a testimonianza del carattere di moderato eclettismo tipico del nuovo spirito progettuale milanese che abbandona le vecchie posizioni razionaliste anteguerra .

Tra i vari ambiti architettonici che prendono forma in progetti più o meno concreti, il tema dell'abitazione è senza dubbio centrale nel dibattito politico e culturale del tempo. Si osserva infatti una naturale convergenza tra la politica di ricostruzione urbanistica sostenuta dalla giunta comunale in seguito alle devastazioni prodotte dalla guerra, e l'impegno dimostrato dalla comunità progettista chiamata a collaborare nella stesura del piano di ricostruzione del 1945. Si nota come prendono spazio i gusti dei singoli autori, che fondono stili differenti a seconda dei casi. Con l'avvicinarsi degli anni '60, la costante crescita demografica, ha trovato una pronta risposta da parte della popolazione progettista. E' proprio questo il periodo dei primi grandi interventi di lottizzazione delle vaste aree dell'hinterland milanese. I piani prevedono la realizzazione sia di grandi complessi residenziali che industriali i quali, data la loro posizione decentrata rispetto al nucleo storico della città, definiscono un nuovo spazio urbano, una cosiddetta "città-regione". Proprio sull'onda di questo fenomeno immobiliare nascono per tutto il decennio successivo, piani di lottizzazione.

In risposta a questo diffuso atteggiamento speculativo che genera un paesaggio architettonico composto da mostri ecologici, durante gli anni delle contestazioni studentesche del '68, si viene a definire un nuovo fenomeno architettonico detto "architettura radicale". Esso rappresenta un movimento di neoavanguardia in cui, gruppi di giovani architetti, attribuiscono alla figura del progettista un ruolo positivo, ossia quello di propositore di nuovi assetti sociali. Egli non si limita a progettare delle semplici unità edilizie, ma lavora per il cambiamento della società.

Il movimento in realtà non produce a Milano dei concreti esempi di architettura radicale ma dà un contributo fondamentale nel superamento dei tradizionali canoni progettuali di derivazione moderna. A Milano in particolare, l'architettura radicale conta tra i propri interpreti più attivi le riviste Domus e Casabella.



Fig.58 Grattacielo Pirelli, Gio Ponti, 1956



Fig.59 Torre Velasca, BBPR, 1956

Milano oggi rappresenta una delle più importanti realtà progettuali presenti sul territorio italiano.

Grazie alla sua vocazione imprenditoriale, la città vuole sottolineare la propria centralità nel panorama economico mondiale ergendosi a portavoce delle ultime tendenze progettuali anche nel campo di moda e design.

Se da un lato non è più possibile riconoscere un preciso linguaggio architettonico negli interventi di ultima realizzazione, proprio questa assoluta varietà compositiva rappresenta il nuovo valore aggiunto che conferisce alla città quel valore in più rispetto ad altre realtà progettuali di stampo più tradizionalista.

E' proprio sulla base di questa spinta che negli ultimi anni la città sta vivendo un momento di grande rinnovamento sia attraverso la realizzazione di nuovi interventi edilizi al passo con gli ultimi trend internazionali, sia rivestendo un ruolo attivo all'interno di eventi culturali di portata mondiale.

Un caso esemplare è rappresentato dell'Expo 2015 per la città si sta preparando attraverso la riqualificazione di nuove aree, ma anche mediante la costruzione di edifici progettati da architetti di fama mondiale. Si creano così nuovi centri di interesse fuori e dentro la città.

Milano oggi è una realtà estesa che abbraccia ampie aree nell'immediato hinterland. E' esattamente in queste realtà che, in seguito alla dismissione dei vecchi poli industriali, si sta osservando una graduale riconversione delle aree in favore di scelte progettuali più vicine alla nuova realtà commerciale e lavorativa.

Questa tendenza ha determinato l'inizio d'un processo di dismissione dei grandi centri produttivi più prossimi al centro urbano (ex area Breda oggi Bicocca Village, industria Pirelli, industrie Falk, Montedison, Alfa Romeo, ecc...), in favore della realizzazione di spazi dedicati principalmente ad attività terziarie e commerciali, nonché di servizi al cittadino.

2.2.2 L'HOUSING A MILANO

Nella prima metà dell'Ottocento a Milano, lo scenario architettonico comincia ad arricchirsi di interventi che non sono più manifestazione del regime e della nobiltà, ma dell'imprenditoria borghese, e che si esplicano nella casa da pigione borghese. Essa è tipicamente suddivisa in tre fasce: un basamento, un primo piano detto "nobile" e tre o quattro piani superiori. Il basamento è più alto degli altri livelli, poiché comprende anche un mezzanino, ed è solitamente trattato a bugnato. Qui trovano posto botteghe e negozi, oltre all'androne d'ingresso.

Questa tipologia appare fortemente decorata ai piani inferiori e molto più semplice salendo, corrispondentemente al fatto che i livelli superiori, meno accessibili, sono riservati alle classi meno agiate.



Fig.60 Edificio residenziale in Via Dante 14, Milano.

Se si assume una visione a scala di quartiere, si noterà che nell'Ottocento si prosegue la tendenza dei secoli precedenti a far coincidere la configurazione planimetrica del fabbricato con la forma del lotto su cui si estende.

Già a partire dal periodo immediatamente successivo all'unità d'Italia, Milano assiste ad un vertiginoso sviluppo industriale seguito da un'altrettanto importante crescita demografica. Cresce quindi, la domanda di abitazioni a basso costo. Si cominciano perciò a realizzare le prime opere di edilizia popolare: ghetti operai localizzati nelle zone più periferiche della città (Bovisa, Bicocca, Rogoredo, ...).

Diminuiscono così gli abitanti operai del centro storico e vengono realizzati tra il 1905-1909 ben quattro quartieri residenziali di iniziativa pubblica: i quartieri Mac Mahon, Spaventa, Ripamonti, Tibaldi. Questi interventi, seppur con altissima densità abitativa, ripropongono la tipologia della casa da pigione ottocentesca. Il modello comunemente diffuso di alloggio popolare consiste in edifici a corte chiusa, a ballatoi sovrapposti (come da tradizione edilizia locale), per un'altezza media di quattro piani fuori terra.

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

Dato lo spostamento della classe operaia verso alloggi più economici, esterni alla città, sul territorio urbano si nota la presenza di un'unica classe sociale, la classe borghese. Si predilige perciò la tipologia edilizia a casa a più piani e con più nuclei

famigliari distinti: il cosiddetto condominio. Scompare perciò differenziazione tipologica dell'edificio in classi sociali (caratteristica essenziale della casa da pigione ottocentesca); nasce il "piano tipo". In realtà però, diversi sono gli elementi che distinguono il condominio dalla vecchia casa da pigione.

Tra di essi si ricorda la sostituzione delle vecchie corti interne con stretti cavedi, pensati unicamente al fine di garantire un affaccio esterno agli spazi di servizio (scale, servizi igienici). Si tratta di spazi così angusti da perdere qualsiasi pretesa architettonica e divenire essi stessi spazi tecnici di supporto alle funzioni già presenti nell'organismo edilizio.

Anche l'ultimo piano è investito da un nuovo senso dell'abitare. Se infatti fino agli ultimi decenni del XIX secolo gli ultimi piani erano destinati ad ospitare le fasce di popolazione meno abbienti, con la diffusione dell'ascensore e della tecnologia del tetto-giardino, gli ultimi piani, divengono spesso delle magnifiche terrazze verdi da cui godere della vista sulla città. Con l'avanzare degli anni trenta, si diffonde la cosiddetta "casa alta", ovvero condominio di altezza media compresa tra i 6 e gli 8 piani disposta lungo il ciglio stradale, a formare con gli edifici adiacenti una compatta cortina edilizia impenetrabile.

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

Durante il periodo fascista, venne data poca importanza all'edilizia popolare. Sono solamente tre gli interventi di questo tipo, realizzati unicamente allo scopo di ospitare la numerosa popolazione sfrattata dagli alloggi popolari in corso di de-

molizione all'interno del centro storico. Questi si localizzano essenzialmente nella zona Sud della città, in località tradizionalmente agricole, lontane dalla dimensione urbana della città e quindi non curati dal punto di vista stilistico-architettonico.

Per quanto concerne i quartieri a riscatto, questi trovano collocazione principalmente in aree semicentrali, dotate di una buona rete di collegamenti ai principali servizi pubblici. Essi si compongono essenzialmente di organismi edilizi a corte chiusa o aperta su un lato, alternati a spazi verdi che da un lato separano formalmente i volumi edilizi ma che a scala urbana hanno funzione unificatrice. Trattandosi di interventi rivolti principalmente alla fascia piccolo-borghese, spesso questo tipo di interventi possiedono un stile architettonico molto simile al linguaggio formale dei palazzi nobiliari (basamento in bugnato con ampio portale di ingresso; lesene a scandire del ritmo di facciata nei piani superiori) . Oltre alla esplicita volontà di mimesi con i modelli dell'edilizia alto-borghese, un'altra caratteristica essenziale è rappresentata dalla volontà categorica di eliminare le uniformità nei prospetti al fine di evitare l'effetto "caserme" simbolo di unità di classe e quindi di scarsa ricchezza.

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

I principi che hanno guidato la ricostruzione sono essenzialmente la rapidità e l'economicità. A tal scopo i progettisti hanno indirizzato le proprie scelte progettuali verso tecnologie costruttive prefabbricate. Ha così inizio un periodo di sperimentazione e di produzione di elementi seriali normalizzati.

Accanto alla pragmaticità delle scelte tecnologiche adottate, già a partire dai primi interventi di ricostruzione, si accende il dibattito sull'importanza dell'espres-

sione dell'identità sociale delle differenti fasce di popolazione attraverso l'esaltazione della varietà morfologica degli edifici.

A causa, da un lato della sua rigidità progettuale-compositiva a livello architettonico, dall'altro della sua genericità a livello urbano, il regolamento edilizio lascia spazio ad interventi residenziali realizzati, il più delle volte, in funzione delle disponibilità di fondi e di terreni piuttosto che di un ambiente urbano di qualità.

Con la conclusione del secondo conflitto mondiale i nuovi interventi edilizi, hanno condotto la città di Milano verso una condizione di totale caos compositivo con gravi ripercussioni sulla qualità edilizia. Per cercare di arginare gli effetti di una così disastrosa assenza da parte degli organi comunali, dal 1958 per quanto riguarda la zona centrale della città, vengono introdotti criteri che impongono importanti vincoli relativi all'allineamento dei fronti stradali e delle altezze degli edifici, alla conservazione delle facciate permettendo al contempo di variare la destinazione d'uso dell'edificio.

Per quanto concerne invece gli interventi residenziali realizzati nelle aree più periferiche, in questi anni e specie durante gli anni '70, si assiste ad un rovinoso decorso durante il quale la cultura architettonica perde completamente la propria identità sociale (sono questi gli anni dei moti del '68), fino a giungere negli anni '80 quando il tema dell'abitare, in uscita da un periodo di grave smarrimento, risulta essenzialmente cristallizzato.

Oggi, a differenza di quanto registrato in passato, si può dire che la tipologia edilizia residenziale non si caratterizza tanto per l'uso di un particolare linguaggio architettonico o per l'utilizzo di schemi distributivi particolarmente differenti da quanto realizzato durante i primi decenni del XX secolo, ma piuttosto si distingue per una nuova concezione dello spazio abitato quasi più ascrivibile all'ambito del disegno d'interni che non della costruzione.

2.2.2.1 EVOLUZIONE DELLA TIPOLOGIA DELL'ABITAZIONE

Di seguito si analizzano i principali caratteri riscontrati nelle abitazioni milanesi.

Il primo tema affrontato riguarda il rapporto tra l'edificio e il lotto su cui si estende. Come già illustrato precedentemente, fino all'Ottocento la tendenza è quella di far coincidere l'estensione dell'edificio a quella del suo lotto anche se questo concetto verrà abbandonato nel corso del tempo. In particolare esistono tre casi ricorrenti che possono essere ricondotti alla tradizione della costruzione della città ottocentesca: la casa d'angolo, la casa a corte e la casa a blocco disposta lungo la cortina edilizia dell'isolato.

Per quanto riguarda il basamento è possibile sostenere che a Milano esso è spesso riconoscibile rispetto al resto della costruzione nelle diverse epoche. Si può riscontrare la rilevanza del piano terra nel disegno della facciata, sia che le sue dimensioni rimangono quelle del corpo di fabbrica, sia che si fa più autonomo con dimensioni maggiori e caratteri distributivi stilistici diversi, definendo in tal modo un basamento formalmente riconoscibile.

E' possibile addirittura riscontrare casi in cui il piano terreno può essere considerato come un'architettura a sé stante, del tutto distinta dai corpi di fabbrica che le sono sovrapposti.

Anche la risoluzione del coronamento degli edifici merita un'analisi come il basamento. Si notano casi in cui il rilievo assunto dall'ultimo piano è particolarmente leggibile nel disegno della facciata, una sorta di partito decorativo connesso all'immagine dell'intero edificio, ma anche esempi in cui esso è ancora contenuto in un'idea compositiva dell'intero edificio dal quale però se ne distacca sia nell'immagine che nella dimensione. Infine l'ultimo piano può essere visto come un edificio basso posto sopra il corpo di fabbrica: per i suoi gradi di autonomia formale e tipologica potrebbe essere pensato come se fosse costruito al suolo.

Da queste analisi si può concludere che spesso l'edificio non può essere indagato come un fatto unitario, ma come sovrapposizione di tre edifici diversi: uno al piano terra su cui è disposto il corpo di fabbrica intermedio alla cui sommità è posto un terzo edificio.

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



Fig.61 Tipologie di trattamento del basamento degli edifici.

Un'idea di continuità di fronte si può avere in un isolato tardo ottocentesco, o con una manifattura del periodo tra le due guerre ma anche con la facciata di condomini costruiti negli anni cinquanta. In alcuni casi la cortina edilizia viene meno della sua compattezza: edifici di altezze molto diverse tra loro costruiti anche in epoche diverse si affiancano l'uno all'altro, spesso interrotti da tratti di edifici alti un solo piano.

Un altro elemento caratteristico dell'abitazione ottocentesca è la corte. La tipologia permane nel tempo, ma assume sfumature diverse. E' possibile parlare di una corte che nasce dalla forma dell'edificio, ma anche come spazio residuo dato dall'aggregazione di più fabbricati. Si può ritrovare una tipologia di corte non voluta, ovvero data dall'affaccio del retro di edifici diversi su uno spazio libero interno dell'isolato.

Infine, data la tipologia del lotto di progetto si tratta la tipologia caratteristica della casa ad angolo. La posizione d'angolo consente di avere due affacci adiacenti su strada che conferiscono all'edificio un carattere di un certo valore e pregio. Un edificio può essere condizionato in misure diverse da questa posizione o mediante la formazione di corpi di fabbrica differente o attraverso la deformazione dello stesso al fine di seguire la forma del lotto.

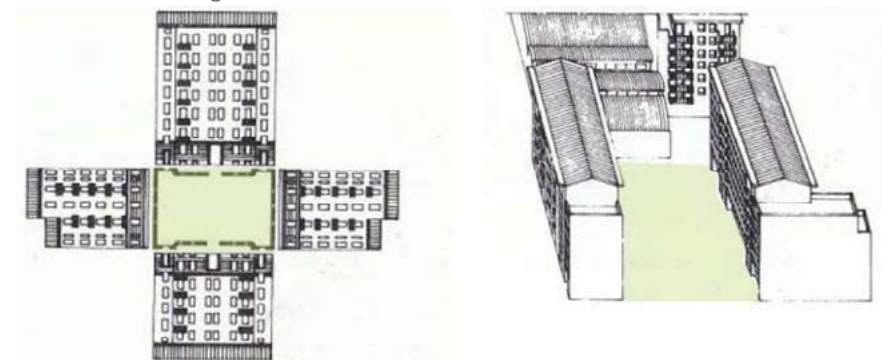


Fig.62 La corte interna generata da uno o più edifici.

2.2.3 AUTORI DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo vengono trattati gli autori la cui analisi ritrova un'interfaccia negli elementi e nelle soluzioni riproposte nel progetto successivamente descritto. Gli autori considerati derivano dalla realtà Milanese data l'importanza dell'integrazione dell'edificio nel contesto urbano e nella cortina stradale esistente.

2.2.3.1 GIO PONTI

Gio Ponti nasce (1891) e si forma a Milano. Il tema dell'abitazione è per lui rilevante fin dal principio. Inizialmente, aderisce al neoclassicismo ma nelle varie sperimentazioni successive pone sullo stesso piano sia gli elementi di avanguardia razionalista che il valore della "naturalità delle abitudini" e le soluzioni "perfettamente funzionali" e il "nobile e latino senso" della casa all'italiana.

Egli passa dall'impostazione di matrice tedesca di casa esatta, secondo determinati canoni di casa che si adatta al suo utente dando importanza ad esso, eliminando il concetto della "machine à habiter" razionalista, nonostante esteticamente egli si rifaccia a questo stile. Il risultato di questo pensiero si esprime negli anni Trenta con le numerose "Domus" per utenti medio-borghesi.

Egli riesce a diffondere le sue concezioni di rinnovamento grazie alla rivista da lui fondata nel 1928, Domus. Qui il progettista ribadisce la necessità di mettere in equilibrio, mediante un linguaggio semplice e chiaro, gli elementi della tradizione con quelli del modernismo.

Dagli anni trenta a metà degli anni Quaranta esprime questa ricerca di semplificazione razionale. Si concentra anche sull'arredamento domestico, ma questa sua passione per l'arredo, l'industria e la produzione seriale è incrementata nel

dopoguerra, quando si avvicina a nuovi materiali leggeri e trasparenti. Questo nuovo interesse si riflette anche nei suoi edifici, dove pone la sua ricerca in una composizione architettonica caratterizzata da volumi in cui si ritrova fluidità e trasparenza.

Negli anni Sessanta, Ponti si interessa all'architettura sociale con alcune esperienze in Oriente, ma continua il suo percorso verso il sempre più libero uso del colore e la trasformazione della materia architettonica in puri effetti di luce. Questo stile è quello che segna l'ultimo decennio della sua attività, quello degli anni Settanta.

I tratti dell'architettura pontiana, che maggiormente hanno influenzato la progettazione dell'edificio oggetto di questo lavoro, sono la semplicità compositiva e il legame con la tradizione.

Egli infatti tende ad un utilizzo di forme regolari e già presenti in ambito milanese. Le aperture sono ben calibrate e quasi sempre allineate sia orizzontalmente che verticalmente, mantenendo la continuità con gli altri fronti stradali.

Utilizza, inoltre, materiali tipici della tradizione della città, come il cotto o i materiali ceramici e lapidei, mantenendone i colori caldi.

L'aspetto cromatico, infine, è molto interessante all'interno dei suoi progetti. Egli spesso, deve inserire i suoi edifici nella fitta cortina stradale tipica del paesaggio urbano Milanese e lo fa attraverso colori accesi, ma ben equilibrati e di richiamo di quelli del contesto, creando, sempre attraverso il colore, degli elementi separatori che permettono meglio il passaggio tra il vecchio costruito ed il nuovo inserimento.

E' necessario notare che, anche molti degli edifici di seguito analizzati, si collocano in un lotto ad angolo, come nel caso dell'area di progetto in esame; si analizza quindi come l'architetto ha risolto l'angolo tra le facciate e come abbia ristabilito la continuità tra i due prospetti ortogonali.

DOMUS IN VIA DEL CARAVAGGIO: LIVIA, ONORIA, SERENA, AURELIA E FLAVIA (1933-1934)

Sull'allusione all'esperienze tedesche di quegli anni, Ponti progetta un'intera unità di quartiere integrando una serie di abitazioni in linea: dapprima Domus Livia, poi Onoria, Serena, Aurelia e, infine Flavia. Egli elabora un programma edilizio sulla ripetizione tipologica, sulla semplificazione volumetrica, distinta solo dai diversi colori delle facciate.

A fare da testata all'intero blocco, su via del Caravaggio, c'è Domus Livia: elevata su cinque piani. A parte l'ultimo piano, costituito da un'unica unità abitativa con una pianta più libera, i piani tipo ospitano due unità; in ogni caso, tutte le abitazioni presentano un'originale distribuzione degli elementi di facciata. E' interessante notare come Gio Ponti risolva l'angolo attraverso balconi continui che sembrano fasciare l'edificio e danno continuità alle facciate ortogonali.

Nella Domus Serena, l'articolazione della facciata viene ulteriormente implementata creando delle logge dall'unione di due file di balconi intervallate da pilastri continui centrali. Domus Onoria e Domus Flavia presentano un motivo di facciata molto alto e stretto, caratterizzato dalla singolare alternanza fra porte e finestre nelle aperture volte sui balconi.

CASA MARMONT E CASA LEPETIT (1935)

Disposto su un lotto d'angolo con una pianta ad "L" l'edificio si sviluppa per sei piani; l'importanza di questa casa d'abitazione borghese è data dall'applicazione di una serie di "regole" sui modi di costruire, sullo stile, sulla soluzione ai problemi funzionali che Ponti applicherà anche in seguito.

Il fronte è fortemente regolare e sono presenti elementi a sbalzo identificati an-

che cromaticamente con delle cornici. Il basamento è distinto dal resto dei livelli come anche il piano attico. Il colore ed il materiale richiamano la tradizione del cotto milanese.

DOMUS IN VIA DE TOGNI: JULIA, CAROLA E FAUSTA (1931-1933)

Gli elementi più interessanti dal punto di vista del progetto di seguito descritto, sono principalmente tratti dalla concezione delle domus, in particolare all'accostamento in continuità con la cortina stradale, all'uso dei colori, alla regolarità delle aperture e dei balconi.

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

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

Inoltre si nota l'assialità nella composizione e nella disposizione degli ingressi al piano terra, e degli aggetti, via via più importanti andando verso l'alto, l'arretramento dei fronti dal filo stradale per consentire l'accoglimento di aree verdi, nonché l'attento studio cromatico delle facciate stesse e delle loro singole componenti (giallo ocra per Fausta, rosso mattone per Carola e verde per Julia).

E' interessante evidenziare come la continuità dei fronti in cui cromatismi sono fortemente in contrasto, è intervallata da elementi finestrati verticali di colore neutro che favoriscono il passaggio da una domus all'altra.



Fig.63 Domus in Via del Caravaggio.

Fig.64 Casa Marmont e Lepetit.

Fig.65 Domus in Via dei Togni.

2.2.3.2 ANTONIO CITTERIO

Antonio Citterio si laurea in Architettura al Politecnico di Milano nel 1972 e si concentra su architettura e interior design, protagonista attivo del panorama milanese. I progetti più significativi sono la riprogettazione di un edificio nel centro storico di Seregno (MI), la sede Esprit ad Amsterdam, Anversa a Milano, e la sede di impianti industriali per Vitra in Germania e per Antonio Fusco a Milano.

Dall'analisi delle realizzazioni più significative è già possibile delineare i caratteri principali che sottostanno al metodo progettuale dell'architetto. In prima analisi è possibile notare come Citterio sfugga alle definizioni stilistiche attraverso cinque punti fermi, che permettono di leggere con una logica di coerenza la produzione dello studio. Il primo è la ricerca della soluzione giusta, nella convinzione che l'architettura debba risolvere e non rappresentare i problemi.

Con queste intenzioni viene progettato l'Edel Headquarters, realizzato nel 2002 nel porto di Amburgo. Il complesso combina funzioni residenziali, commerciali e terziarie in un unico edificio, articolato in due volumetrie distinte, che condividono il piano terra vetrato, ospitante un ristorante, un bar e le lobby d'ingresso. Le residenze si trovano nell'edificio a torre, con un affaccio privilegiato sul futuro parco prospiciente l'area. Ogni appartamento è dotato di loggia per aumentare ulteriormente il comfort delle stanze orientate verso il tessuto urbano di recente formazione. Un altro progetto nel quale è ben identificabile la specifica volontà da parte dell'architetto di trovare la soluzione che risolva meglio i problemi che pone il contesto è la sede degli uffici e showroom di Zegna a Milano, totalmente immerso in un sistema a corte. La facciata sfrutta il contorno e le forme dei piani inclinati, permettendo al nuovo edificio di integrarsi nel contesto costruito circostante. Attraverso questo progetto è possibile notare l'attenzione, da parte dell'architetto, per soluzioni tecnologicamente innovative.

Il secondo assioma è la religione della semplicità. Si osservi come il vetro nelle architetture di Citterio invece che a svelare serve a velare. Il contesto di lavoro è l'ambiente milanese, lo stesso della moda, del design.

Un esempio di tutto ciò è il complesso residenziale ubicato in via Salaino 10 a Milano, completato nel 2011. I livelli interrati contengono cantine, parcheggi e spazi tecnici. La facciata sulla strada è stata trattata con cemento decorativo, con una struttura e un modello di perforazioni che evocano i motivi Liberty degli edifici nel contesto circostante; sottolineando il carattere privato del complesso residenziale. Il volume principale è allineato in altezza con gli edifici adiacenti. Il prospetto è stato progettato creando una doppia pelle con una superficie discontinua di pannelli in bronzo dorato e lastre di vetro serigrafato che proteggono le logge, e un balcone continuo lungo tutto il perimetro dell'edificio presente a tutti i livelli. Filtri solari tessili sono inseriti per proteggere l'intero volume.

Un altro esempio di come Citterio persegua questo secondo assioma è rappresentato dal progetto per la sede del sole 24 ore, in via Lomazzo 52, Milano. Il progetto architettonico è in continuità con il tentativo del razionalismo milanese di interagire con gli eccellenti vicini esempi di modernismo di Bottoni, Terragni e Vietti in Corso Sempione. Grande attenzione è stata rivolta alla qualità della costruzione, al risparmio energetico e ad altri aspetti di compatibilità ambientale. Via Lomazzo si trova in una zona centrale, in un denso ambiente commerciale urbano. Tuttavia, l'area di progetto contiene un giardino che esiste da trent'anni, con una superficie di circa 3000 m², all'interno del blocco.

Vi è poi una ricerca tesa ad evitare l'eccessiva decorazione. Ciò è evidente nel progetto per il Bulgari Hotels & Resorts Milano, realizzato nel 2004.

Il progetto, riguardante un edificio risalente al 1950, è stato rivisitato in modo da evidenziare la sua composizione grafica.

La facciata esprime raffinatezza e leggerezza. Le finestre strette e alte della lobby, con i loro vetri riflettenti, proiettano il verde del giardino progettato come se fosse un set cinematografico.

Il quarto assioma è la contestualità. L'architettura deve appartenere al luogo più che emergere da questo. Gli edifici per la città si pongono un problema di decoro urbano, dialogano con i palazzi vicini, sottolineano la loro presenza senza alzare troppo la voce. Tale aspetto viene enfatizzato in lavori come la ristrutturazione del palazzo Ferrante Aporti, situato a Milano e terminato nel 2011.

Visibilità, accessibilità, creazione di funzioni aperte al pubblico sono gli obiettivi di questo progetto che può considerarsi, in primo luogo, di carattere strategico rispetto ad una nuova identità che Milano si appresta ad assumere; anche attraverso il rinnovamento di frammenti di storia come questo. Un progetto pulito, semplice ed autonomo, capace di stabilire un dialogo con la costruzione storica esistente e che ne sottolinea le linee architettoniche e i principi.

Attraverso la precisione geometrica dei profili e il telaio in acciaio che copre il nuovo volume, il progetto è definito in modo chiaro e moderno, diventando un corpo sospeso, leggero; un elemento tecnologico sulle gronde dell'edificio storico originale.

Vi è infine il quinto assioma, ossia il bisogno di una composizione tra i pieni dei muri e i vuoti delle bucatore. Dove le vetrate abbondano vi è sempre il pieno dei tetti o dei brise soleil. Dove la materia predomina vi sono sempre finestre generose e spesso disposte asimmetricamente che alleggeriscono l'impatto dell'edificio, permettono un buon rapporto visivo dall'interno verso lo spazio circostante e conferiscono alla facciata un raffinato ritmo metropolitano.

Dall'analisi dei progetti è dunque possibile concludere che l'architettura di questo studio, tra i più raffinati del panorama italiano e soprattutto milanese, persegue una concreta estetica moderna, volta soprattutto a rispettare i costumi e i modelli di vita, piuttosto che seguire un sistema di linguaggio astratto.



Fig.66 Edel Headquarters, Amburgo.

Fig.67 Residenze in Via Salaino, Milano.

Fig.68 Bulgari Hotels & Resorts, Milano.

Fig.69 Palazzo Ferrante Aporti, Milano.

2.2.3.3 CINO ZUCCHI

Cino Zucchi si laurea in Architettura nel 1979, presso il Politecnico di Milano, dove è Professore Ordinario di Composizione Architettonica e Urbana.

Insieme allo studio Cino Zucchi Architetti ha progettato e realizzato negli anni molti edifici pubblici, residenziali e commerciali, una serie di progetti di spazi pubblici, progetti per il ridisegno di aree storiche ed è attivo nel campo del disegno di interni e dell'allestimento. Il suo impegno è quello di coniugare una dimensione sperimentale con una completezza professionale in grado di rispondere a programmi progettuali complessi di qualsiasi scala, cercando di affrontare coerentemente problematiche relative a strutture, impianti, viabilità, economia, paesaggio, grafica, illuminazione.

Nell'area ex Alfa Romeo a Milano, il comparto realizzato da Cino Zucchi, nel 2006, si configura come un isolato aperto composto da edifici in linea e un gruppo di edifici a torre di edilizia residenziale, sia libera che convenzionata, disposti in modo irregolare verso il nuovo Parco. Al centro dell'intervento è stato recuperato, ad uso uffici, il volume della ex mensa dell'Alfa Romeo di cui è stata conservata una facciata. Tutto il complesso prevede un accostamento di diverse individualità formali e tipologiche, attraverso cui riprodurre una varietà urbana ispirata ai modelli dell'architettura milanese degli anni Cinquanta.

I tre edifici in linea sono disposti in modo da chiudere l'isolato, allineandosi ai tracciati stradali. I tre corpi alti otto piani sono uniti da bassi muri a formare un unico isolato. L'orientamento dei corpi paralleli a via Traiano massimizza l'esposizione solare e l'affaccio verso il nuovo parco, mentre protegge dal rumore del

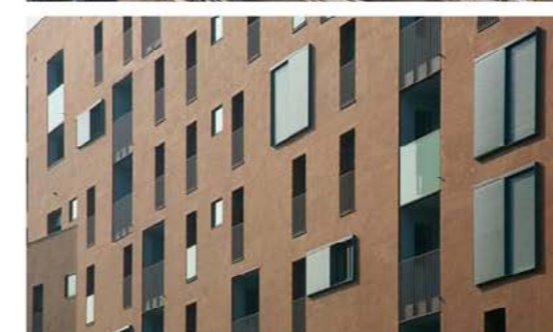


Fig.70 Edifici in linea Nuovo Portello, Milano.

Fig.71 Dettagli degli edifici in linea Nuovo Portello, Milano.

Fig.72 Edifici in linea Nuovo Portello: affaccio verso il parco, Milano.

Fig.73 Edifici a torre Nuovo Portello, Milano.

Fig.74 La corte verde di corso Como: vista dalla corte, Milano.

trafficato viale Serra, verso il quale il progetto si attesta con tre testate chiuse. I pedoni accedono ai blocchi dal lato opposto, attraverso portici con colonne in pietra bianca, che affacciano sui giardini comuni. Sul lato verso il parco un grande elemento di oscuramento in cemento prefabbricato protegge le logge degli appartamenti, cercando di coniugare alta densità con alta qualità ambientale.

Le torri, adibite a residenza, rivolte verso la città, presentano un impaginato di prospetti consapevolmente ispirato agli edifici milanesi di Luigi Caccia Dominioni, mentre le torri residenziali che si affacciano sul verde hanno un'interfaccia più permeabile, pensata in funzione della vista sul parco. Le finestre di diverse forme e proporzioni, i diversi tipi di oscuramento a tapparella scorrevoli, le profonde logge dai parapetti in ferro e vetro sono disposti secondo una serie di variazioni che enfatizzano gli scorci orizzontali verso la città. L'uso dei materiali di rivestimento e la soluzione di coronamento vogliono costituire una rilettura critica dei caratteri dell'edilizia milanese del secondo dopoguerra.

Il progetto studiato per il concorso della Corte Verde di Corso Como, tenutosi a Milano nel 2006, è un esempio dell'attenzione dell'architetto verso gli aspetti tecnologico-energetici e, contemporaneamente, verso il contesto, sia urbano che storico-architettonico, della città di Milano. Infatti la disposizione dei volumi sul lotto risponde in maniera ottimale ai vincoli dati dalla dimensione e dall'orientamento dello stesso. Risponde inoltre altrettanto bene ad una serie di obiettivi "urbani", legati ad una lettura della dimensione delle strade, dei profili degli edifici del contesto (e di quelli previsti dal piano), della natura degli spazi aperti, pubblici e privati. L'utilizzo di differenti altezze per movimentare le linee del palazzo, il diverso trattamento delle facciate, la presenza di un giardino privato protetto che lascia intravedere l'interno, sono elementi che contribuiscono a dar forma ad un edificio contemporaneo, che allo stesso tempo presenta alcuni temi che ricorrono nell'architettura residenziale milanese degli ultimi due secoli.

2.2.4 ANALISI DEI CROMATISMI

L'approccio progettuale adottato è fondato sull'analogia con il contesto più che sulla contrapposizione con lo stesso. Infatti uno degli scopi progettuali principali rimane l'integrazione con esso senza che però il progetto si confonda all'interno della cortina edilizia, mascherando il proprio carattere. Ciò significa progettare un edificio che si distingua per qualità architettonica, facendo proprie le caratteristiche tipiche dell'area di intervento, e allo stesso tempo non si imponga, attraverso le scelte stilistiche e di linguaggio, sull'architettura dei luoghi circostanti. Sulla base di quanto appena esplicitato hanno preso forma le analisi e le conseguenti scelte progettuali che hanno portato alla configurazione del progetto finale.

2.2.4.1 COLORI E MATERIALI

Analizzata nel suo complesso l'architettura della città di Milano appare sobria e priva di eccessi, caratterizzata soprattutto dalla sua raffinatezza. Le variazioni cromatiche si sposano in tale contesto architettonico. Si rileva una gamma cromatica di colori che vanno dal giallo caldo al marrone fino al beige, nelle sue differenti tonalità, ed al rosa; nonché a limitate concessioni per i bruni ed i neri.

La Figura 75 illustra il rilievo cromatico eseguito lungo la cortina edilizia di Via Palermo. Detto rilievo è stato elaborato al fine di improntare il progetto verso scelte architettoniche che permettano all'edificio di immergersi in modo armonico, ed in continuità, nel panorama architettonico sia della città di Milano, sia più nello specifico, della cortina edilizia di Via Palermo. L'analisi evidenzia la varietà delle cromie presenti, mentre per quanto riguarda i materiali emerge la preponderanza nell'utilizzo di intonaco, come rivestimento di facciata per la parte centrale e il ceppo di Grè, largamente utilizzato per il basamento degli edifici.

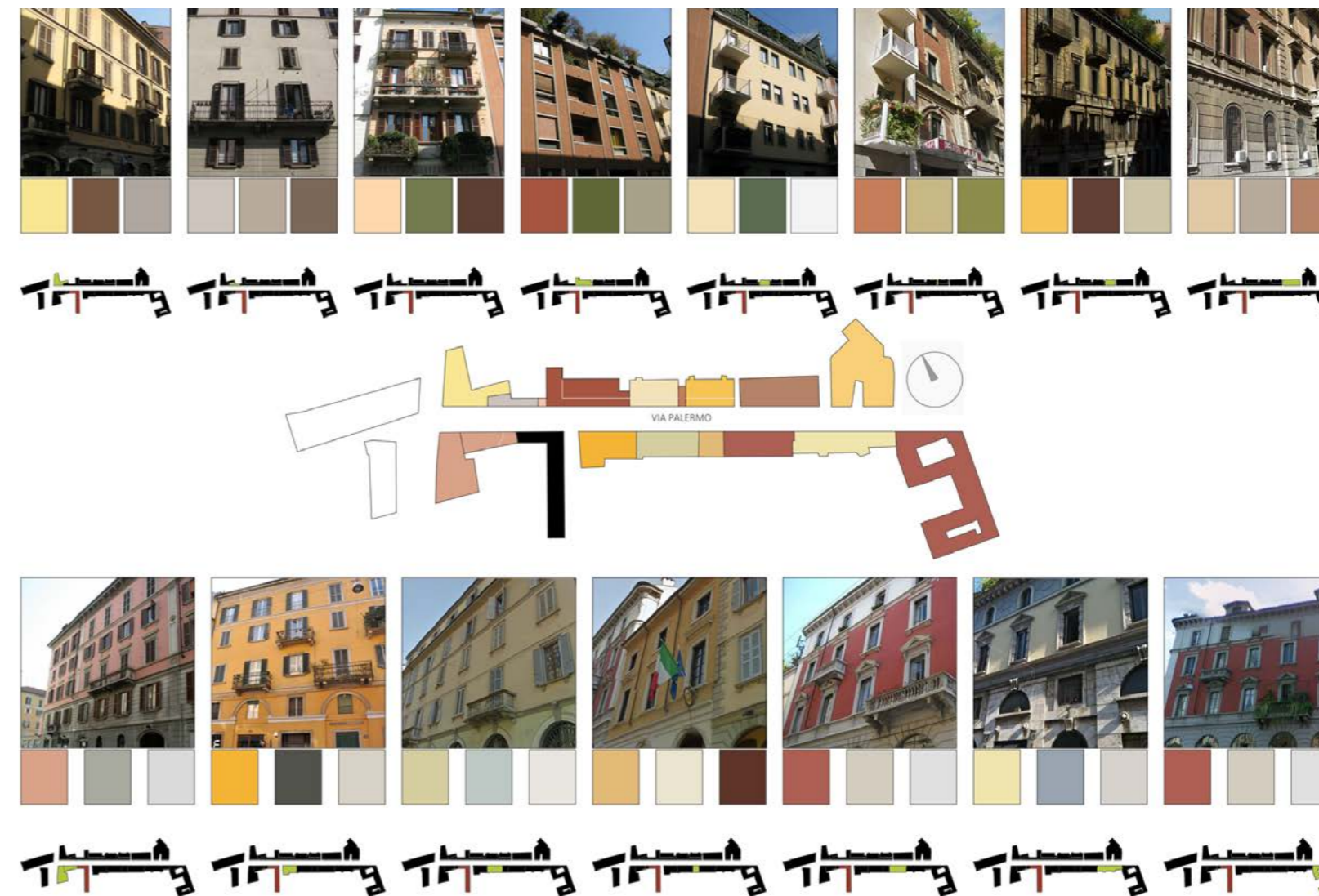


Fig.75 Analisi dei cromatismi.

2.2.5 LA RESIDENZA PER STUDENTI

2.2.5.1 CENNI STORICI

Nel Medioevo esistevano quasi esclusivamente scuole monastiche o legate alle cattedrali, in cui l'istruzione e l'insegnamento erano legate prevalentemente allo studio delle Sacre Scritture. A partire dagli anni 30 del XII secolo, l'Europa ebbe un impulso di laicizzazione della cultura, data dall'arrivo a partire dalla Spagna, di studiosi arabi. Queste circostanze, unite alla mobilità della popolazione ed alla necessità di una nuova riforma della politica portano alla rottura delle scuole monastiche, non più in grado di sostenere la nuova richiesta di sapere e di cultura.

Nasce quindi un nuovo tipo di peregrinazione: la peregrinazione accademica di maestri e studenti. Si formano pertanto nelle città le associazioni di intellettuali che diventano presto corporazioni ed infine "Universitas" autonome rispetto ai poteri di clero e stato, ma che ancora non hanno un'organizzazione forte. Esse non hanno biblioteche, laboratori o edifici di proprietà ma sfruttano gli spazi della città. Per le aule si utilizzano stanze delle residenze degli insegnanti, mentre gli studenti, per quanto riguarda l'alloggio, si affidano al mercato privato.

Gli spazi della città Medioevale sono però carenti e con prezzi elevati; nascono quindi i collegi, spesso in edifici esistenti, al fine di fornire agli studenti indigenti ospitalità gratuita. Nel XIV secolo cominciano quindi a sorgere in Europa specifiche costruzioni per ospitalità e studio: i "Collegium".

Con Umanesimo e Rinascimento nel XV e XVI secolo c'è un nuovo impulso alla costruzione di collegi, ma anche al recupero di quelli più antichi. L'obiettivo è di trasformare l'università ed il collegio in un polo per la città attraverso la caratterizzazione architettonica dell'edificio. Questo rinnovato interesse è dovuto anche

alla crescita di importanza del ceto borghese che vuole rafforzare il suo stato sociale. Aumenta così il numero degli studenti e la tipologia architettonica del collegio comincia ad entrare nella trattativa come nel caso di Leon Battista Alberti e Filarete. L'immagine che emerge è la necessità di un "villaggio" che avrebbe dovuto ospitare il sapere in modo completo e unitario. Le piante riportate sono regolari e simmetriche tipiche dello stile del periodo. In generale si nota la netta separazione tra zone comuni e zone private, per la concentrazione e lo studio singolo nonché spazi specifici per l'insegnamento.

Nel XVI con la crisi economica e la Contro Riforma, la diffusione di questa tipologia di educazione libera e laica, viene associata alle dottrine eretiche portando alla nascita di seminari e collegi sottoposti agli ordini religiosi, come i Gesuiti, riportandosi verso la clericizzazione della cultura operando un forte controllo sull'istruzione e la vita degli studenti imponendo una serie di regole per determinarne la quotidianità. Gli edifici che sono nati in questo periodo erano funzionalmente distinti in tre ambiti funzionali corrispondenti ad altrettanti cortili. Nel maggiore si affacciavano aule ed uffici, in quello secondario con giardino, il refettorio, la cucina e la foresteria ed in quello intermedio tra i due, le residenze per gli studenti ed i padri gesuiti. Le celle erano esternamente circondate dal corridoio di distribuzione in modo da avere un unico affaccio verso l'interno e limitare i contatti degli studenti con la città.

Nel XVIII secolo s'instaura in Europa l'assolutismo illuminato, che con le sue idee liberali ed innovative, toglie il potere sulla cultura alla Chiesa e trasforma l'istruzione in un servizio sociale, e quindi anche il collegio si apre alla città ed ai cittadini.

In questo periodo si mantiene la struttura a corte, ma le camere non sono più singole, ma diventano comuni fino a quattro persone. All'interno dei collegi compaiono spazi collettivi ed anche ricreativi oltre che di studio ed insegnamento.

Con la rivoluzione francese questo ideale venne portato all'estremo fino all'avvento di Napoleone quando si retrocede ai modelli del passato. Con la restaurazione e la sempre crescente potenza della borghesia, pur mantenendo la conformazione tipica degli edifici Gesuiti, nei collegi aumenta sempre di più l'importanza della vita in comunità riducendo al minimo gli spazi per la privacy. Con l'Unità d'Italia, i governi postunitari dedicarono molta importanza all'università fino all'avvento del fascismo, quando l'istruzione superiore diventa per pochi eletti e volta a rafforzare l'idea della potenza italiana. Il fascismo dà molta importanza ai giovani istruendoli anche dal punto di vista fisico e militare. La corrente architettonica che unitariamente si dedica alla tipologia di casa studentesca è il razionalismo. La tipologia è caratterizzata dal piano terra e da un piano seminterrato con servizi amministrativi e collettivi, il primo piano rialzato è dedicato a cucina, lavanderia, locali tecnici, palestra e sale gioco. I piani superiori sono adibiti a residenze singole a cui si accedeva tramite un corridoio centrale. I servizi igienici sono comuni ogni 10 studenti. Le destinazioni d'uso sono riconoscibili in facciata, poiché le par-



PIANO TERRA
Ingresso
Sala d'attesa
Biblioteca
Sala del consiglio
Archivio
Refettorio
Sala camini
Cappella
Sala del rettore
Sala degli ospiti
Sale collettive



Fig.76 Collegio Borromeo, Pavia 1561.

Fig.77 Collegio Borromeo, Pavia 1561, la corte.

Fig.78 Collegio Borromeo, Pavia 1561, piante.

Fig.79 Casa dello studente, Università Cattolica, Milano 1934, cella tipo.

Fig.80 Collegio del colle, Cosenza, 1962, celle.

2.2.5.2 MODELLI INSEDIATIVI

La residenza universitaria in Italia è caratterizzata dall'essere un sistema di spazi con funzioni differenti, dalla residenza ai servizi: spesso gli alloggi universitari sono collegati alle strutture didattiche accademiche, ed integrati nel contesto urbano. Il grado di dipendenza dalle strutture universitarie e d'integrazione col contesto determina differenti modelli insediativi:

- università separata dalla città: gli studenti vivono nel Campus separato dalla città, ma da essa dipendente. Le strutture sono collegate con l'istituzione universitaria, in grado di accogliere la quasi totalità degli iscritti. Le relazioni con la città sono minime, e la residenza assume la funzione di dormitorio, poiché i servizi comuni sono unificati per più residenze avendo costi di gestione minori;
- modello integrato città-università: è il modello più diffuso in Italia dalla nascita dell'istituzione accademica. In questo caso la residenza, è svincolata organizzativamente dalla sede didattica, e costituisce l'elemento di un sistema di alloggiamenti diffusi nell'area d'influenza dell'università; la singola residenza si caratterizza come insediamento integrato se la sua localizzazione permette una facile accessibilità ai servizi didattici, rimanendo integrata con il contesto urbano. Ogni struttura appartenente a questa tipologia necessita una dotazione completa di servizi collettivi in grado di realizzare un'entità autonoma;
- insediamento isolato: nel caso si abbiano residenze localizzate in zone distanti sia dalle aule universitarie sia da quei servizi quali biblioteche, librerie, luoghi di incontro culturale che completano il percorso formativo degli studenti; generalmente sono caratterizzate da una maggiore dotazione di spazi per attività collettive e di svago rispetto all'insediamento integrato anche se la distanza dalle strutture dove viene impartito l'insegnamento comporta una permanenza minore nella residenza e quindi una ridotta utilizzazione.

2.2.5.3 TIPOLOGIE

Il *Decreto Ministeriale numero 43 del 2007* descrive gli standard minimi dimensionali e qualitativi per le residenze studentesche e ne fornisce le linee guida relative ai parametri tecnici ed economici basandosi sulla *Legge 14 novembre 2000*. All'interno del documento sono inoltre definiti i modelli organizzativi secondo cui è possibile strutturare una residenza universitaria:

- ad albergo: l'organizzazione spaziale è impostata su corridoi sui quali si affacciano le camere singole o doppie preferibilmente con bagno di pertinenza; i servizi residenziali collettivi sono concentrati in zone separate dalle camere dei residenti; questa soluzione si presenta più semplice di altre dal punto di vista realizzativo per la serialità degli elementi ma allo stesso tempo, induce nell'utenza comportamenti di scarso interesse dello spazio collettivo aumentando l'utilizzazione della stanza rispetto alle parti comuni. Questo schema distributivo, è adatto alla ristrutturazione, nel caso di edifici adeguati alle esigenze di spazi di socializzazione; sacrificando alcune camere per ogni piano è possibile far posto a cucine collettive e ad aree di soggiorno per piccoli gruppi.
- a minialloggi: le residenze degli studenti sono in veri e propri appartamenti di piccole dimensioni affacciati sulle zone di distribuzione. Ogni appartamento, destinato ad uno o due utenti è autonomo in quanto dotato di zona cottura, servizio igienico ed eventuale zona giorno; gli spazi comuni dell'intero complesso sono ridotti e riferiti a servizi essenziali; il rischio di questa tipologia è di non soddisfare appieno le esigenze di socializzazione e comunicazione dei suoi abitanti e costituisce una soluzione economicamente più onerosa rispetto alla precedente;
- a nuclei integrati: questa tipologia è caratterizzata da un numero variabile di camere in grado di ospitare da 3 a 8 studenti, che fanno riferimento per alcu-

ne funzioni come le preparazione pasti, zona pranzo e soggiorno, ad ambiti spaziali riservati, che danno luogo a nuclei separati d'utenza; sono comunque presenti spazi comuni per l'intero complesso; questo modello è molto adatto al recupero del patrimonio edilizio preesistente ed è caratterizzato da una struttura meno rigida per quanto riguarda il layout planimetrico;

- misti: è la soluzione nella quale sono presenti contemporaneamente i diversi tipi distributivi al fine di ospitare differenti tipi di utenti (studenti, borsisti, studenti sposati) ma allo stesso tempo conserva la funzione fondamentale di incentivare la socializzazione tra gli abitanti.

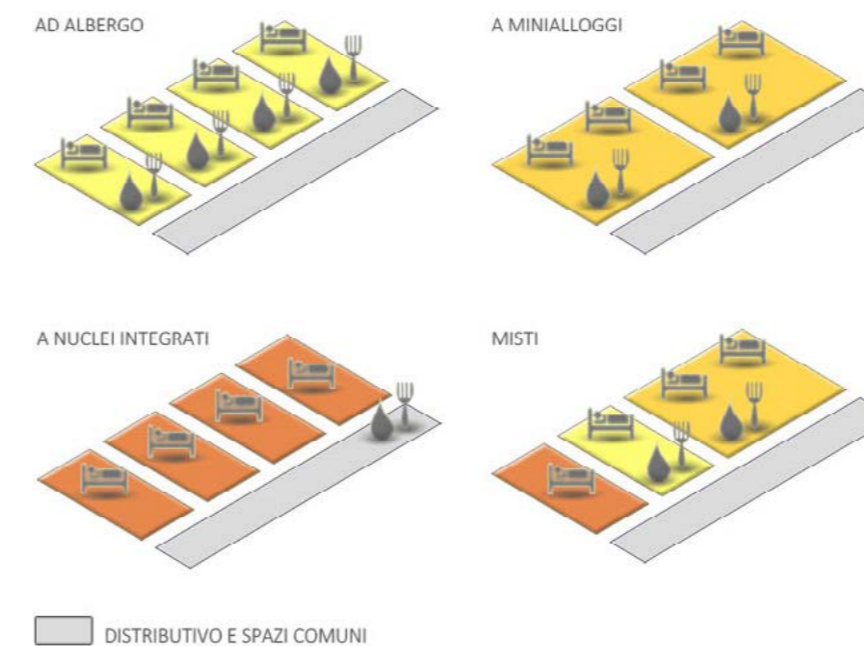


Fig.81 Tipologie di residenza studentesca descritte dalla normativa.

2.2.5.4 ESEMPI ITALIANI ED EUROPEI

COLLEGIO UNIVERSITARIO CITTA' STUDI, MILANO

Il collegio è ubicato nei pressi del Politecnico di Milano. Il principio ispiratore del progetto, è l'integrazione dello stesso con edifici diversi per stile e funzione. Il fronte principale si affaccia sulla moderna sede della Facoltà di Architettura ed è caratterizzato da una facciata continua con un brise soleil aggettante rispetto al filo della stessa. Il fronte su Piazza Leonardo Da Vinci si confronta con edifici residenziali di epoche differenti e l'ingresso principale del Politecnico di Milano. Il prospetto su Via Villani, rispecchia la destinazione d'uso residenziale, attraverso le grandi finestre che illuminano le camere disposte a distanza regolare.

L'edificio in generale ha a forma rettangolare con asse longitudinale Nord-Sud e affaccio Est-Ovest.

Gli spazi collettivi sono al piano terra ed al piano interrato, mentre i quattro piani superiori sono adibiti a residenze. Il corpo scale è singolo e disposto centralmente ad ogni livello, a Sud è presente anche una scala di sicurezza.

Il ballatoio di distribuzione, affacciato su Via Ampere, distribuisce 19 camere per piano.

Per quanto riguarda i servizi collettivi al piano terra sono presenti una reception, una sala polivalente (studio, lettura, biblioteca ed emeroteca) aperta anche agli esterni, una sala studio con pc e tecnigrafi, una sala giochi ed una cappella. Nell'interrato sono presenti lavanderia, stireria e depositi mentre esternamente un campo da gioco.

La residenze sono organizzate mediante l'accoppiamento di due camere singole o una doppia ed una singola con un servizio igienico comune.



Fig.82 Collegio universitario Città Studi, Milano.



Fig.83 Residenza per studenti a Ljubljana, Slovenia.

RESIDENZA PER STUDENTI A LJUBLJANA, SLOVENIA

Questa residenza è collocata nei pressi del centro cittadino e comprende 56 stanze distribuite in due corpi parallelepipedi poste su un basamento che accoglie i servizi comuni (deposito biciclette, lavanderia), un piccolo spazio commerciale e ambienti per lo studio e lo svago.

Questi si aprono sulla corte interna a verde attrezzato con camminamenti e postazioni per lo studio all'aperto e la socializzazione.

L'ingresso, a Sud, porta ad un atrio che collega orizzontalmente i due blocchi residenziali e porta alle varie aree collettive.

La parte degli alloggi è caratterizzata da un corridoio centrale aperto raggiunto da due coppie di scale. Un vuoto centrale connette visivamente i vari livelli trasformando lo spazio di transito in un luogo di incontro.

Ogni nucleo abitativo comprende due stanze doppie affacciate ad un servizio centrale contenente servizi igienici e l'ambiente cucina-pranzo con un'ampia vetrata.

Ogni camera da letto è dotata di una loggia esterna protetta da frangisole forati mobili con anche funzione di garantire la privacy.

TIETGENKOLLEGIET, COPENHAGEN

Il Tietgenkollegiet costruito nei pressi del centro di Copenhagen e delle principali università della città, si compone di cinque corpi alti sei piani disposti a cerchio, per un totale di 360 appartamenti di diversa dimensione, dotati di servizio igienico ma non di zona cottura. Ogni stanza, singola o doppia, è dotata di una grande vetrata e di un balcone che dà sui dintorni. Il piano terra ospita servizi comuni pubblici come internet caffè, sala assemblee e conferenze, una palestra, sala musica, lavanderia e parcheggio biciclette.

Ai piani superiori si collocano gli alloggi, ma anche in questo piano i luoghi di socializzazione non mancano, attraverso ampie cucine e sale lettura collocate in ogni livello.

Come i numerosi terrazzi, anch'esse si affacciano attraverso grandi bow windows sulla corte centrale, creando spazi piacevoli per l'aggregazione, uno dei concept principali del progetto.

CITE A'DOCKS, LE HAVRE

Questa residenza per studenti ha la peculiarità di essere composta da container portuali recuperati e trasformati in spazi abitabili inserendosi all'interno dell'intervento di recupero dell'ex zona portuale di Le Havre.

La tecnologia utilizzata, influenza molto la configurazione dell'edificio, come composizione di unità abitative indipendenti, di forma rettangolare allungata ognuna delle quali auto sufficiente per la presenza al suo interno di servizi igienici e zona cottura.

Il fabbricato si compone di quattro piani, ed è scandito in facciata dalle grandi aperture dei singoli alloggi che occupano l'intero lato corto del container, e dalla presenza dei corpi scale aperti disposti ogni due unità, i quali distribuiscono agli alloggi ed ai piani.

Il distributivo, attraverso balconi e terrazzi è considerato un luogo di socializzazione.

Gli spazi comuni e di socializzazione sono molto limitati, poiché anche il piano terra risulta occupato prevalentemente dalle residenze. Per questo, esso, al fine di garantire agli occupanti, la stessa intimità dei piani superiori, è leggermente sollevato da terra. Le zone di distributivo, con funzione di terrazzo, hanno la funzione di luoghi di aggregazione sebbene siano molto ridotti.



Fig.84 Tietgenkollegiet, Copenhagen, Danimarca.



Fig.85 Cite a' Docks, Le Havre, Francia.

ASPETTI COMUNI NEI PROGETTI

Dall'analisi dei progetti riportati, è possibile ricondursi a degli aspetti comuni nella tipologia edilizia di residenza per studenti, da tener presente nella futura progettazione.

La prima di queste caratteristiche è l'importanza degli spazi comuni di socializzazione, al fine di creare un ambiente adatto agli utenti, in cui si rafforza il senso di comunità e di famiglia, data la tipologia di occupanti. Gli spazi comuni, nei progetti affrontati, sono collocati al piano terra o nei livelli interrati, al fine di garantire una certa privacy alla parte di alloggi, creando un basamento continuo sotto le unità abitative. Queste, vengono solitamente disposte nei piani superiori dove, comunque, si tende a dare spazio ai luoghi di socializzazione, dando particolari connotazioni al connettivo o attraverso servizi comuni legati alla vita residenziale.

Gli alloggi e le camere, mantengono la forma rettangolare allungata con un'unica grande apertura sul lato corto per l'illuminazione, e frontalmente ad essa, la porta

di ingresso che si affaccia sul distributivo. Per tale conformazione a piccole unità, esso è a ballatoio, chiuso o aperto. Data la dimensione ridotta delle stanze, esse vengono spesso dotate di logge o balconi privati, che vengono però generalmente protetti dagli sguardi indiscreti mediante pannelli semiforati o semitrasparenti.

Un altro aspetto fortemente presente, è la corte interna su cui si affacciano le aree comuni. Questa crea un senso di comunità e di spazio condiviso.

In conclusione, come indicato dalla legge italiana ma come si può notare anche dagli esempi europei, la realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari deve garantire agli utenti tutte le condizioni di permanenza nella città sede di università, permettendogli di agevolare la riuscita nello studio non solo attraverso le funzioni residenziali ma anche mediante quelle di supporto alla didattica e alle attività culturali e ricreative. Inoltre il servizio abitativo deve garantire l'integrazione culturale e sociale degli studenti tra loro ma anche con la vita cittadina.

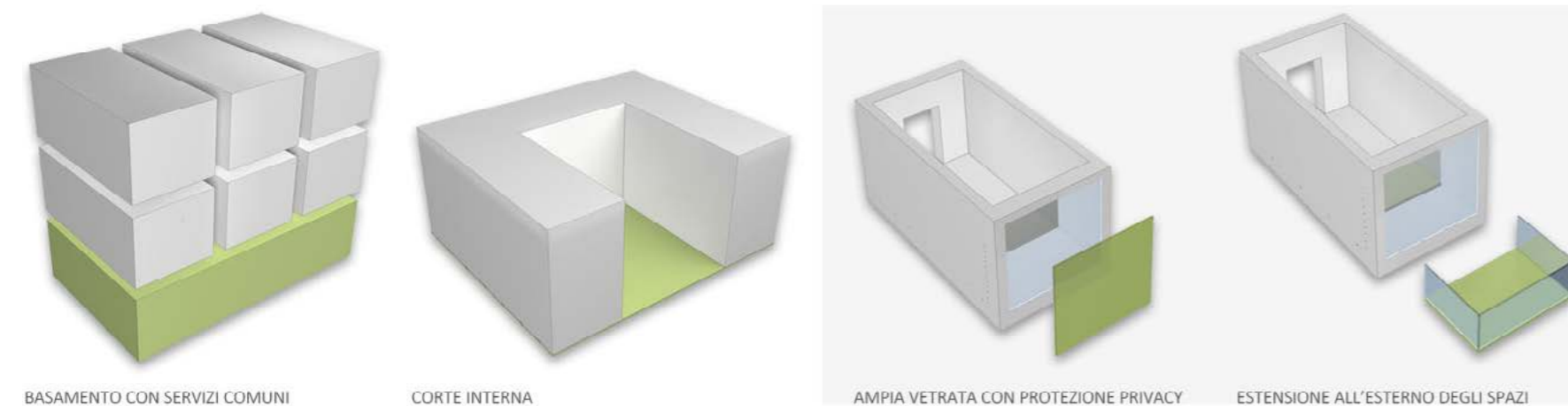


Fig.86 Aspetti principali delle residenze studentesche.

2.3 ANALISI BIOCLIMATICHE

Per la progettazione di un organismo edilizio energeticamente consapevole, dotato quindi di sistemi capaci di captare, conservare ed utilizzare l'energia proveniente dall'esterno, occorre avere una conoscenza completa e strutturata dei dati di natura geografica e climatica caratterizzanti il sito in cui si vuole intervenire. Questa prima fase di indagine mira all'individuazione di quelle fonti che offrono i dati climatici convenzionali utili per la progettazione dell'involucro edilizio e della componente impiantistica. I dati che saranno presentati possono essere raggruppati in tre categorie:

- dati climatici orari medi giornalieri;
- dati climatici giornalieri medi mensili;
- dati di progetto.

I primi permettono di ottenere sia una distribuzione dei valori medi orari della temperatura dell'aria esterna e dell'umidità relativa, sia lo stato dei venti e la concentrazione di acqua piovana caduta, permettendo la scelta di opportune strategie progettuali. I secondi riguardano il calcolo dei fabbisogni energetici e le verifiche idrometriche ed infine, i terzi, sono utili per la verifica del superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze e il dimensionamento, in termini della potenza termica, dei sistemi di riscaldamento o raffreddamento.

Ciò che verrà esposto qui di seguito ha l'obiettivo di dare una visione generale delle caratteristiche del sito di progetto, individuandone i punti di forza e le debolezze dal punto di vista climatico-ambientale, al fine di attuare strategie passive efficaci partendo dall'inizio del processo di progettazione.

2.3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di progetto, come già specificato, è situata nel Comune di Milano in via Palermo, ad Ovest del bacino della dell'Alta Pianura Padana, ed è caratterizzata da un clima temperato continentale tipico delle medie latitudini. Questo è contraddistinto da temperature miti e piogge intense e frequenti durante i mesi primaverili ed autunnali; gli inverni sono piuttosto freddi e secchi mentre le estati sono caratterizzate da temperature abbastanza elevate e scarse precipitazioni.

Come in tutte le grandi città, è necessario considerare anche il fenomeno dell'isola di calore sovrastante l'abitato del centro, in cui prevalgono materiali che assorbono il calore come pietra e asfalto, e dove mancano ampi spazi verdi che rinfreschino l'aria esterna. Ciò rende le temperature più elevate rispetto alle campagne circostanti o centri meno densamente urbanizzati. Di conseguenza, i quartieri centrali godono di minime lievemente più alte (+ 2÷3 °C) rispetto alle aree periferiche che risentono delle masse di aria fredda ed umida provenienti dalle campagne;

E' necessario notare, inoltre, che i quartieri a Sud della città sono più frequentemente interessati dalla nebbia durante l'inverno, perciò, talvolta, a causa di questo evento atmosferico, le zone centrali e meridionali della città sono più fredde (per quel che riguarda le temperature massime) anche di circa 2 °C rispetto alla campagna circostante. In generale, però, le temperature minime in inverno nel centro di Milano risultano più alte che in periferia, mentre in estate questa differenza si attenua.

I dati di progetto e le coordinate geografiche per Milano sono le seguenti:

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

Di seguito sono riportate le informazioni riguardanti la caratterizzazione dei venti, delle precipitazioni, dell'umidità relativa, dell'irradianza e delle temperature che interessano il Comune di Milano, dove si colloca l'area di progetto in esame.

2.3.2 PARAMETRI CLIMATICI

I valori che verranno riportati di seguito, nel corso della relazione, sono stati monitorati dalle stazioni meteorologiche di:

- Milano Linate;
- Milano Malpensa;
- Milano via Juvara;

Essi, inoltre, sono stati integrati con i valori forniti da:

- dati climatici annuali 2011 I.S.T.A.T. (Istituto Nazionale di Statistica);
- U.N.I. (Ente Nazionale Italiano di Unificazione);
- C.T.I.2000 (Comitato Termotecnico italiano, Energia e Ambiente);
- A.R.P.A. Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) .

Di seguito si analizzano le temperature dell'aria esterna:

- medie giornaliere orarie;
- medie mensili;
- medie annuali.

I valori esplicitati si riferiscono ad un periodo di tempo compreso fra il 1990 e il 2011.

2.3.2.1 TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

Il clima milanese è caratterizzato da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie basse in inverno (0°- 4 °C) ed alte in estate (le medie massime estive oscillano dai 25 °C ai 30 °C).

Nella stagione fredda, le temperature minime possono attestarsi anche diversi gradi al di sotto dello zero nelle ore notturne, e talvolta rimanere negative o prossime allo zero anche nelle ore centrali della giornata, soprattutto, in quelle zone dove è presente il fenomeno della nebbia. Nella stagione invernale, proprio a causa del ristagno dell'aria, le temperature massime si attestano su valori decisamente bassi: in alcuni casi si possono registrare periodi in cui i valori termici restano negativi, anche se di poco, durante il corso della giornata.

In estate, invece, in alcuni casi, le temperature massime possono toccare, come nel caso della presenza dell'anticiclone Sub-Tropicale, punte di +38° o, addirittura superiori. Come già accennato, il fenomeno dell'isola di calore, accresce il fenomeno di surriscaldamento dell'aria durante i mesi estivi, quando la temperatura è quasi sempre superiore ai valori di comfort come si esporrà in seguito.

TEMPERATURE MEDIE GIORNALIERE

L'andamento delle temperature è influenzato dai valori di intensità della radiazione solare, che risultano meno intensi nei mesi invernali e più elevati nella stagione estiva. La tipologia di superfici presenti ed i loro colori condizionano questo aumento, assorbendo e rilasciando l'energia solare.

Di seguito si riportano le temperature medie giornaliere in °C mese per mese che, banalmente, risultano più alte nei momenti con maggiore radiazione solare, ovvero le ore centrali della giornata:

Tab.06 Temperature medie giornaliere.

Giorno	Mese											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	2,9	7,4	3,3	9,4	17,1	23,1	23,2	23,0	20,9	15,5	13,5	6,6
2	3,0	7,0	2,3	11,1	14,7	24,0	22,8	24,0	23,1	15,6	12,5	5,8
3	0,7	10,0	2,3	8,4	14,0	21,2	23,3	24,5	25,0	16,5	11,0	5,4
4	1,2	4,8	5,0	8,9	11,2	20,4	25,2	23,5	25,9	16,0	10,8	5,0
5	0,9	5,5	9,0	11,9	10,4	19,0	23,1	25,6	25,4	16,4	10,8	5,0
6	2,2	6,5	10,1	12,7	13,0	16,1	20,2	27,2	23,8	16,0	10,5	7,7
7	1,8	9,1	8,1	11,6	16,5	17,4	21,8	26,6	23,4	15,3	9,4	7,3
8	2,9	6,7	6,4	12,6	15,1	16,7	25,1	26,3	23,5	14,0	7,3	4,6
9	3,8	10,3	8,3	10,6	13,8	16,3	26,1	27,6	23,2	14,1	6,3	3,0
10	4,5	9,0	8,7	9,5	13,8	21,2	26,1	26,8	21,4	13,8	6,7	1,3
11	4,4	6,5	9,3	10,3	14,7	22,0	25,5	23,4	21,6	15,0	6,3	0,6
12	4,1	7,6	10,0	11,6	16,9	22,5	27,0	18,7	19,5	14,3	8,0	1,5
13	3,0	7,0	13,1	13,0	18,3	24,2	21,2	19,9	19,2	13,9	10,4	0,5
14	3,3	8,0	12,9	13,6	18,4	26,0	19,9	21,2	18,3	14,0	10,4	-1,2
15	0,7	7,5	13,0	12,7	19,9	27,0	18,4	23,3	19,5	15,0	7,1	-0,6
16	1,0	6,9	12,5	11,9	22,4	27,6	19,0	22,4	16,6	16,3	6,9	0,3
17	1,3	7,5	9,7	9,6	22,6	27,6	22,3	21,8	19,2	17,7	6,5	0,5

18	0,2	7,3	11,4	9,4	20,4	28,5	22,3	23,3	19,6	16,0	6,0	0,2
19	1,4	6,7	14,1	14,1	19,2	28,7	21,9	24,4	19,7	14,4	7,1	0,7
20	3,7	9,0	13,9	19,0	19,9	28,4	24,8	22,4	20,9	12,8	5,8	1,8
21	5,9	8,0	12,6	20,2	19,9	28,4	24,2	22,8	21,3	11,4	3,6	1,4
22	3,3	5,6	15,9	21,0	20,6	29,4	25,6	22,8	21,6	11,9	4,5	1,9
23	3,2	5,0	16,2	19,4	17,8	30,2	25,0	23,0	22,0	14,5	7,0	3,2
24	3,6	5,8	14,8	15,2	18,8	29,2	26,0	23,9	19,6	14,1	5,6	1,3
25	5,2	7,6	15,4	17,1	19,1	24,5	23,9	23,9	16,6	12,5	4,7	2,1
26	6,6	7,4	14,3	17,8	18,5	23,4	22,7	23,8	17,1	15,7	6,0	2,0
27	8,2	9,2	13,6	17,9	16,7	24,7	23,8	21,9	16,6	14,1	5,0	5,3
28	4,6	9,2	8,4	15,1	17,6	24,1	25,7	23,8	16,9	16,1	5,6	3,9
29	4,1		8,9	15,3	20,4	22,4	26,5	19,7	17,3	13,0	3,5	1,9
30	3,4		8,7	18,1	21,8	21,8	26,4	21,2	19,1	12,4	4,8	5,3
31	4,6		13,1		22,6		24,1	22,5		13,7		5,7

TEMPERATURE MEDIE MENSILI

Le medie mensili della temperatura [°C] media giornaliera dell'aria esterna sono riportate nella La *Norma UNI 10349, Prospetto VI (Norma Italiana – dati climatici – raffrescamento e riscaldamento degli edifici)* n°49 MI, e sono di seguito richiamati:

Tab.07 Temperature medie mensili, Norma UNI 10349.

	Mese											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Milano	1,7	4,2	9,2	14	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14	7,9	3,1

La stessa norma, riporta anche alcuni metodi di correzione di tali valori in base alle condizioni di progetto che possono essere differenti da quelle indicate, come quote altimetriche di riferimento differenti:

“I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel Prospetto VI. I dati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto. Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

· si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);

· si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\theta_{\theta} = \theta_{(\theta,r)} - (z - z_r) \delta$$

Dove:

$\theta_{(\theta,r)}$ è la temperatura nella località di riferimento;

z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;

z_r è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;

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

Si riporta quindi il Prospetto II con i valori del gradiente verticale di temperatura:

Tab.08 Prospetto II, Norma UNI 10349.

Zona geografica	δ (°C/m)
Italia settentrionale transpadana	1/178
Italia settentrionale cispadana	1/200
Italia centrale e meridionale	1/147
Sicilia	1/174
Sardegna	1/192

La temperatura giornaliera media mensile è quella maggiormente utilizzata in sede di calcolo, nel caso per esempio dei componenti impiantistici. Si è scelto in questo

caso di utilizzare come fonte l'ISTAT che risulta più aggiornata sulle variazioni climatiche degli ultimi anni (2001-2009) che in generale sono più alte rispetto a quelle della norma del 1994. Si può notare che l'aumento di temperatura è tra i 2,8°C e gli 0,3°C tranne nel caso del mese di Aprile, in cui la temperatura scende di 0,1°C:

Tab.09 Temperatura giornaliera media mensile, dati ISTAT.

	Mese											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Milano	4,5	6,6	10,3	13,9	19,2	23,8	25,4	24,7	20,1	15,3	9,4	4,9

TEMPERATURE MEDIE ANNUALI

Per valutare la variazione di temperatura nel corso degli anni, è necessario considerare le temperature medie annuali. Dalla tabella seguente che riporta tali dati [°C] nel periodo 2000-2009 si evince che su base annuale, la temperatura media permane pressochè costante nel tempo, mentre dai valori riportati in precedenza, valutati mese per mese, la differenza risulta più consistente:

Tab.10 Parametri annuali legati alla temperatura media annuale.

Anno	T	σ_T	T_M	σ_{TM}	T_m	σ_{Tm}	PP	σ_{PP}	E	σ_E
2000	13,7	1,1	18,3	1,2	9,0	1,0	1.722	69,4	0,0	0,2
2001	13,3	0,7	17,9	0,8	8,6	0,6	689	-32,2	9,8	0,2
2002	13,4	0,8	17,8	0,7	8,9	0,9	1.214	19,5	9,4	-0,2
2003	14,2	1,6	19,1	2,0	9,2	1,2	656	-35,4	9,1	0,8
2004	13,4	0,9	18,0	0,9	8,8	0,8	765	-24,7	8,8	0,1
2005	12,9	0,3	17,5	0,4	8,2	0,2	701	-31,0	9,2	0,2
2006	13,6	1,1	18,3	1,2	8,9	0,9	682	-32,9	9,4	0,3
2007	13,9	1,4	19,0	1,9	8,8	0,8	650	-36,0	9,0	1,1
2008	13,7	1,1	18,4	1,3	8,9	0,9	914	-10,1	9,2	0,4
2009	13,4	0,8	18,4	1,3	8,4	0,4	851	-16,3	10,2	0,9

Si ricavano quindi i valori medi nell'arco di tempo considerato:

Tab.11 Temperature medie annuali.

T_{MEDIA}	$\sigma_{T_{MEDIA}}$	T_{MMEDIA}	$\sigma_{TM_{MEDIA}}$	T_{mMEDIA}	$\sigma_{Tm_{MEDIA}}$	PP_{MEDIA}	$\sigma_{PP_{MEDIA}}$	E_{MEDIA}	$\sigma_{E_{MEDIA}}$
13,52	0,97	18,27	1,17	8,77	0,77	884,4	-12,97	8,41	0,4

T_{MAX}	$\sigma_{T_{MAX}}$	T_{MMAX}	$\sigma_{TM_{MAX}}$	T_{mMIN}	$\sigma_{Tm_{MAX}}$	PP_{MAX}	$\sigma_{PP_{MAX}}$	E_{MAX}	$\sigma_{E_{MAX}}$
14,15	1,6	19,1	2	9,2	1,2	1722	69,4	10,2	1,1

Legenda:

- T [°C] media annua della temperatura media per provincia;
- σ_T [°C] scarto della media annua della temperatura media dal corrispondente valore medio;
- T_M [°C] media annua della temperatura massima;
- σ_{TM} [°C] scarto della media annua della temperatura massima dal corrispondente valore medio;
- T_m [°C] media annua della temperatura minima;
- σ_{Tm} [°C] scarto della media annua della temperatura minima dal corrispondente valore medio;
- PP [mm] media annua della precipitazione totale per provincia;
- σ_{PP} [mm] scarto della media annua della precipitazione totale dal corrispondente valore medio;
- E [°C] escursione termica media annua della temperatura;
- σ_E [°C] scarto dell'escursione termica media annua della temperatura dal corrispondente.

In riferimento al DPR 26-8-1993 n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n.10" è possibile ricavare, per ogni località, il valore dei gradi giorno (definito come: la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 gradi centigradi e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno e conseguente-mente la zona climatica."

Tab.12 Parametri climatici in relazione alla zona climatica di riferimento.

Località	Gradi Giorno	Zona climatica	Periodo annuale di riscaldamento	Durata giornaliera di attivazione
Milano	2404	E	15 ottobre – 15 aprile	14 h (limite massimo consentito)

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

L'Art. 3 (*Classificazione generale degli edifici per categorie*) stabilisce che gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso da cui si ricavano le categorie prevalenti:

· E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:

E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;

E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;

E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

· E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico;

· E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico- dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;

· E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:

E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;

E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;

E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;

· E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;

· E.6 Edifici adibiti ad attività sportive

· E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

· E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

2.3.2.2 ENERGIA RADIANTE

L'energia radiante è l'energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche provenienti dal sole, fonte primaria per il pianeta terra e quindi per gli edifici.

L'energia solare si propaga simmetricamente nello spazio fino ad investire la terra. La radiazione che raggiunge la superficie terrestre si distingue in: radiazione diretta, radiazione diffusa e radiazione riflessa.

La radiazione diretta colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben definito angolo d'incidenza. La radiazione diffusa incide invece su tale superficie con vari angoli.

Una superficie inclinata può ricevere, inoltre, la radiazione riflessa dal terreno o da altre superfici come pareti di edifici adiacenti.

Considerando I_D la radiazione diretta, I_S quella diffusa ed R la parte riflessa, allora si ha che la radiazione solare totale che incide su una superficie è $I_{TOT}=I_D+I_S+R$.

L'inclinazione e l'orientamento influenzano molto la percentuale di queste componenti nell'energia totale acquisita: una superficie orizzontale riceve la massima I_S e la minima R e la componente riflessa aumenta al crescere dell'inclinazione.

IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE SUL PIANO ORIZZONTALE

L'irradiazione è il rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie colpita.

I principali valori sono:

· irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale H [MJ/m²] ;

· irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale riportata come H_{bh} [MJ/m²] ;

· irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale, ovvero H_{dh} [MJ/m²] .

Per ottenerla si utilizza: $H=H_{ri}+\frac{H_{r2}-H_{r1}}{\phi_{r2}-\phi_{r1}}(\phi-\phi_{r1})$

Dove:

H_{r1} è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;

H_{r2} è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;

ϕ è la latitudine della prima località di riferimento;

ϕ_{r1} è la latitudine della seconda località di riferimento;

ϕ_{r2} è la latitudine della località considerata.

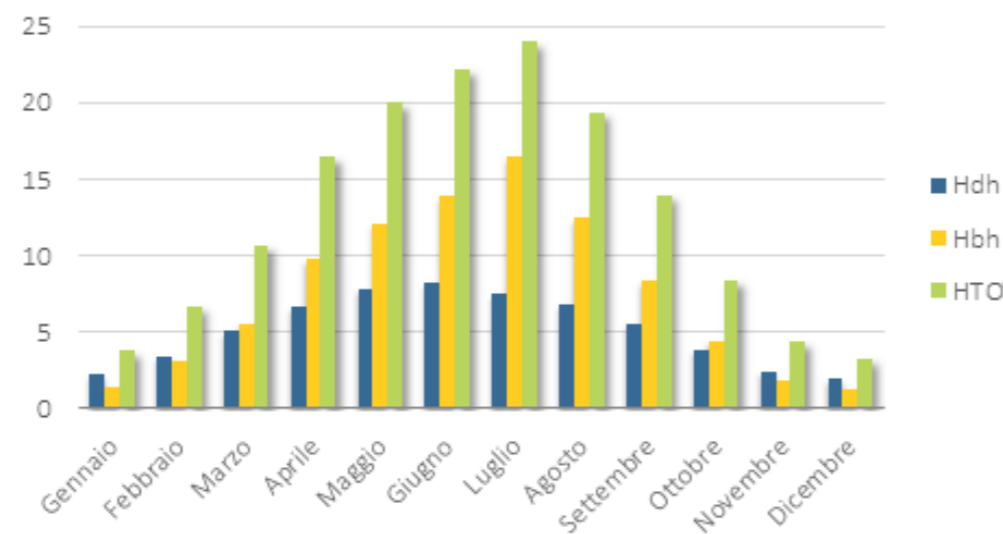
I valori dell'irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale appena citati, per i capoluoghi di provincia, sono riportati nelle componenti (H_{bh}) diretta e (H_{dh}) diffusa in MJ/m² per ogni mese dell'anno, nel *Prospetto VIII* della *norma UNI 10349*.

Tale prospetto è riportato qui di seguito:

Tab.13 Prospetto VIII, Norma UNI 10349

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
H_{dh}	2,3	3,5	5,1	6,7	7,9	8,3	7,5	6,9	5,6	3,9	2,5	2
H_{bh}	1,5	3,2	5,6	9,8	12,1	13,9	16,5	12,5	8,4	4,5	1,9	1,3
H_{TOT}	3,8	6,7	10,7	16,5	20	22,2	24	19,4	14	8,4	4,4	3,3

Dal grafico riportato di seguito, si può osservare che i valori di irradiazione minima si registrano a Dicembre mentre i valori massimi nei mesi più caldi di Giugno e Luglio. Questi mesi sono infatti quelli con temperature dell'aria più alte; infatti, come già detto, la temperatura è influenzata dal livello di radiazione solare di quel determinato periodo. In particolare, le superfici stesse, se colpite dai raggi solari, assorbono calore, rilasciandolo poi nell'ambiente, aumentando la temperatura dell'aria. A Milano, data la presenza limitata di vegetazione, questo effetto isola di calore, fa in modo che nel centro urbano la temperatura sia maggiore rispetto a quelli limitrofi nonostante la localizzazione o l'altitudine siano simili.



Graf.01 Irradiation media mensile nel corso dell'anno.

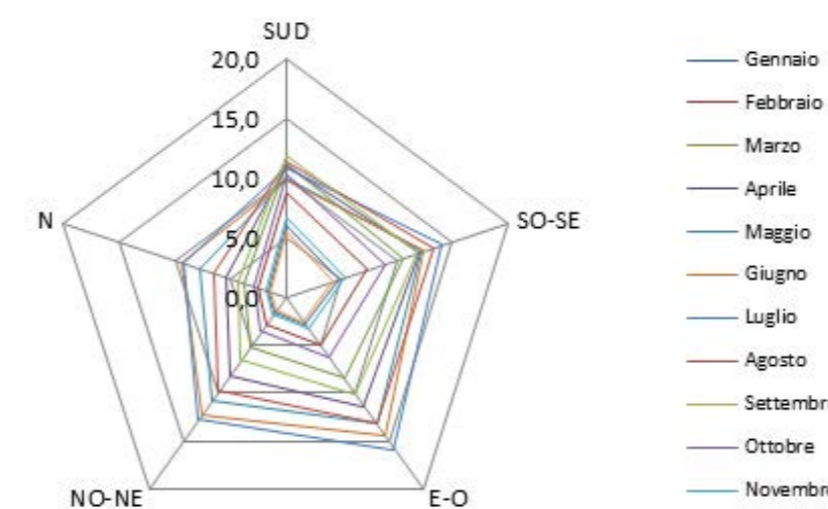
IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE SUL PIANO VERTICALE

Sempre nella *Norma UNI 10349* nei prospetti IX, X, XI, XII e XIII, sono riportati i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile in MJ/m² su superficie verticale.

Tab.14 Irradiation solare giornaliera media mensile, Norma UNI 10349.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
SUD	6,0	8,7	11,2	10,9	10,0	9,8	10,8	11,3	11,8	10,3	6,7	5,4
SO-SE	4,8	7,3	10,6	12,1	12,3	12,5	14	13,3	11,8	8,9	5,4	4,3
E-O	2,9	5,1	8,5	11,4	13,2	14,4	15,8	13,2	10,1	6,4	3,4	2,6
NO-NE	1,6	2,9	5,3	8,2	10,7	12,2	12,8	9,8	6,5	3,6	1,9	1,4
N	1,5	2,4	3,7	5,4	7,8	9,4	9,2	6,4	4,2	2,8	1,7	1,3

Come mostrato, i valori massimi di irradiazione non si registrano sulla medesima orientazione, ma variano nel corso dell'anno. Da Ottobre a Marzo, l'irradiazione massima è diretta sulle superfici verticali orientate a Sud, durante Maggio, Giugno e Luglio, l'irradiazione massima è assorbita dalle superfici orientate ad Est e ad Ovest. Infine, le superfici esposte a Nord sono quelle che ricevono un'irradiazione solare globale giornaliera inferiore a a tutte le altre nel corso di tutto l'anno.



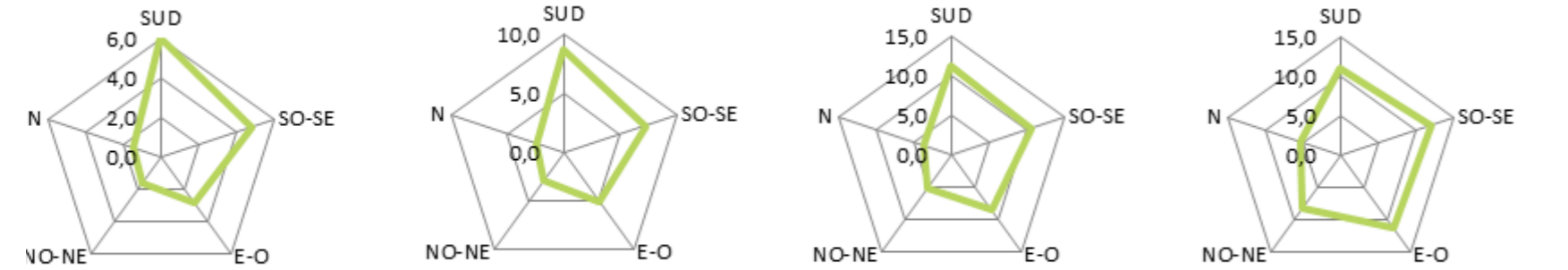
Tali osservazioni sono riscontrabili nei grafici di seguito riportati.

In particolare, si può notare dal grafico di riepilogo annuale come le superfici più dolcitate dalla radiazione solare siano quelle ad Est ed a Sud. Ciò dovrà essere quindi preso in considerazione per quanto riguarda le scelte progettuali, sia dal punto di vista delle aperture e delle protezioni, ma anche della disposizione interna e dei colori dei prospetti.

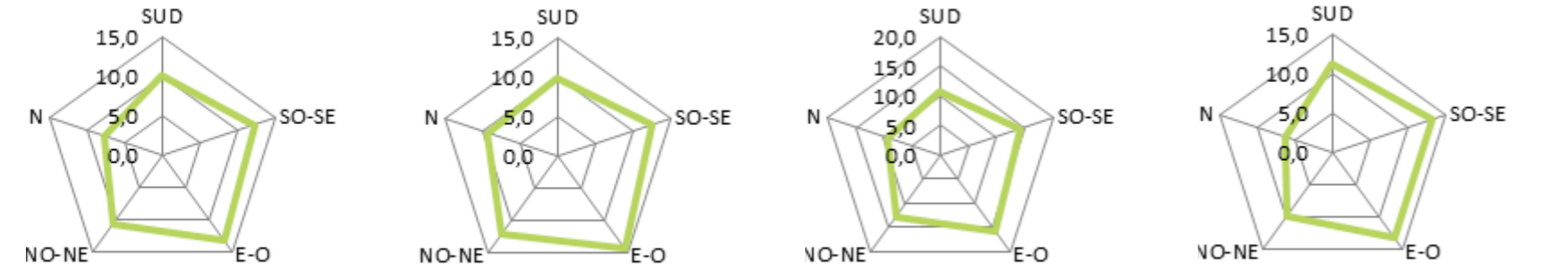
Graf.02 Irradiation su superfici verticali nel corso dell'anno.

Graf.03 Irradiation su superfici verticali mese per mese.

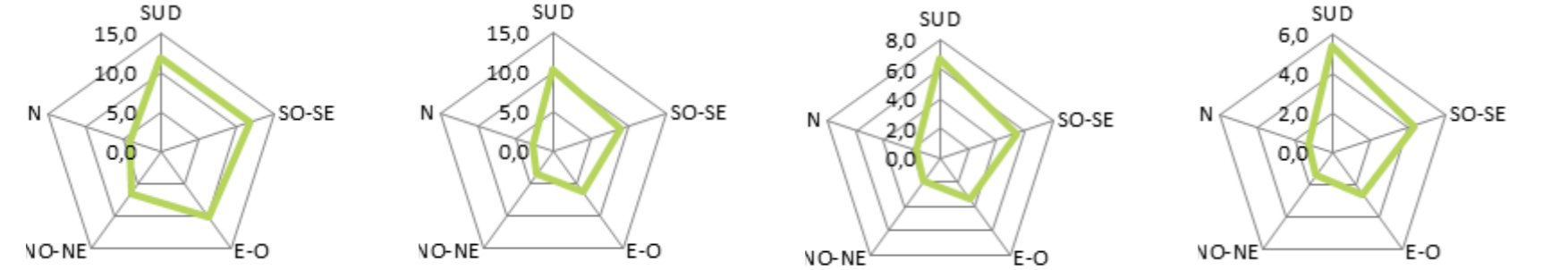
Gennaio Febbraio Marzo Aprile



Maggio Giugno Luglio Agosto



Settembre Ottobre Novembre Dicembre



IRRADIANZA SOLARE ESTIVA MASSIMA:

DISTRIBUZIONE GIORNALIERA

Al fine di una progettazione consapevole, è importante conoscere come si distribuisce l'irradianza massima estiva durante le ore del giorno, soprattutto per quanto riguarda la scelta dell'orientamento dei vari locali e la necessità di ombreggiamento. Questo aspetto, infatti, contribuisce a mantenere una temperatura dell'aria interna sufficientemente bassa da garantire un buon livello di comfort o un carico di raffrescamento inferiore per l'impianto.

Per calcolare l'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale, ad una specifica ora del giorno, bisogna conoscere la latitudine della località in esame per poi interpolare linearmente con i valori relativi alle latitudini tabulate. Le coordinate geografiche della città di Milano sono, secondo il *Prospetto VII della Norma UNI 10349*:

- altitudine: 122 m.s.l.m.
- latitudine: 45° 28' 38" N
- longitudine: 09° 10' 53" E

I *Prospetti XVII, XVIII, XIX e XX* riportano rispettivamente i valori:

- dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine;
- dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice sia disposto verticalmente e diversamente orientato che disposto orizzontalmente in funzione delle ore del giorno e della latitudine;
- valori dell'angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva;

- dell'altezza solare ed azimutale in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativi all'irradianza solare massima;
- dell'angolo d'incidenza solare in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativo all'irradianza solare massima;
- valori dell'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo.

Questi valori sono esplicitati per le latitudine 46°, 44°, 42°, 40° e 38°, quindi per trovare i valori d'irradianza a Milano, è necessario utilizzare i valori stabiliti per le latitudini 46° e 44°, interpolando mediante la formula:

$$I_T(\phi_{Milano}) = I_T(\phi_{r1}) + \frac{I_T(\phi_{r2}) - I_T(\phi_{r1})}{\phi_{r2} - \phi_{r1}} (\phi_{Milano} - \phi_{r1})$$

Dove:

- I_T è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T;
- ϕ è la latitudine della località in esame;
- ϕ_{r1} è la latitudine riportata nel *Prospetto XVII* subito più grande della località;
- $I_T(\phi_{r1})$ è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal *Prospetto XVII* per la latitudine ϕ_{r1} ;
- ϕ_{r2} è la latitudine riportata in *Prospetto XVII* subito più piccola della località;
- $I_T(\phi_{r2})$ è l'irradianza solare massima relativa alla superficie di orientamento T rilevata dal *Prospetto XVII* per la latitudine ϕ_{r2} .

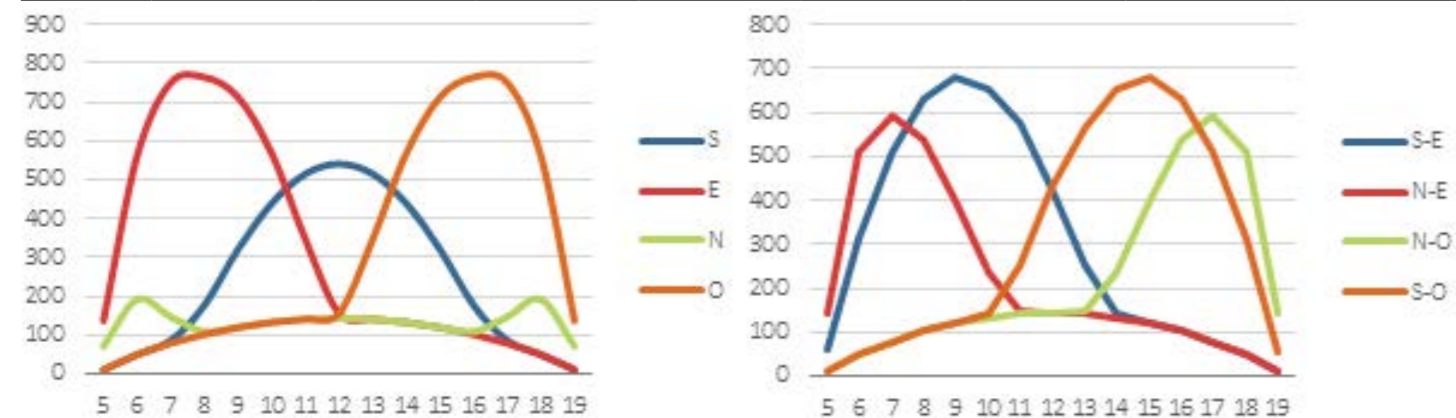
Quindi si ottiene:

$$I_T(\phi_{Milano}) = I_T(46^\circ) + \frac{I_T(46^\circ) - I_T(44^\circ)}{46^\circ - 44^\circ} (45^\circ 28' 38'' - 46^\circ)$$

Nella tabella seguente si riporta l'irradianza massima solare estiva incidente su superfici verticali [W/m²]:

Tab.15 Irradianza massima solare estiva incidente su superfici verticali, Norma UNI 10349.

Ora	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord	Nord-Ovest	Ovest	Sud-Ovest	Diffusa	Orizzontale
5	11	58	137	143	71	11	11	11	11	30
6	50	312	562	511	192	50	50	50	50	198
7	86	509	750	595	147	79	79	79	79	381
8	177	631	764	536	109	102	102	102	102	552
9	321	679	713	402	120	120	120	120	120	698
10	439	655	568	234	133	133	133	140	133	810
11	515	576	347	148	141	141	141	250	141	881
12	541	427	156	144	144	144	156	427	144	909
13	515	250	141	141	141	146	347	567	141	881
14	439	140	133	133	133	234	568	655	133	810
15	321	120	120	120	120	402	713	679	120	698
16	177	102	102	102	109	536	764	631	102	552
17	86	79	79	79	147	595	750	509	79	381
18	50	50	50	50	192	511	562	312	50	198
19	11	11	11	11	71	143	137	56	11	30



Graf.04 Irradianza solare massima estiva[W/m²] incidente su superfici verticali diversamente orientate.

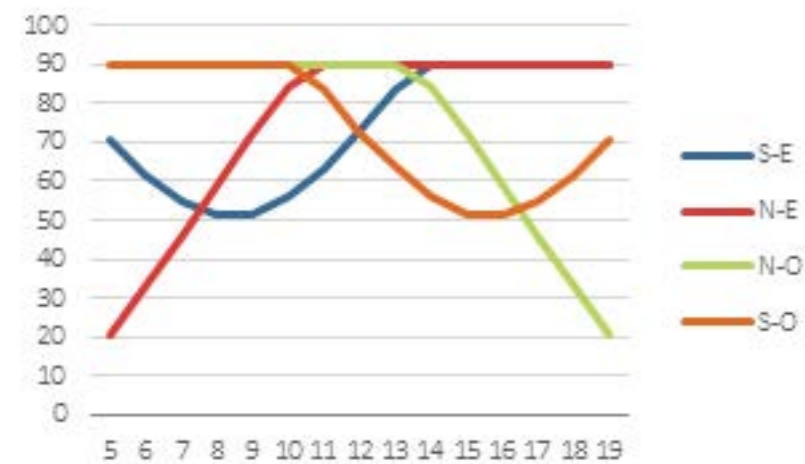
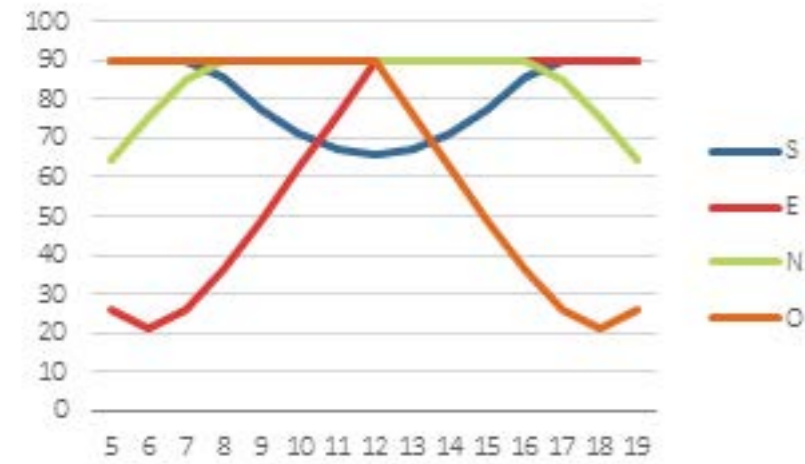
I *Prospetti XIX* e *XX* della stessa norma, riportano i valori dell'angolo d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva e l'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo, in funzione dell'ora del giorno e della latitudine. Poiché la latitudine di Milano è 45°28'38", cioè quasi 46°, si riportano soltanto i valori esplicitati dalla norma per tale valore.

Tab.16 Angolo di altezza solare ed azimutale massima estiva.

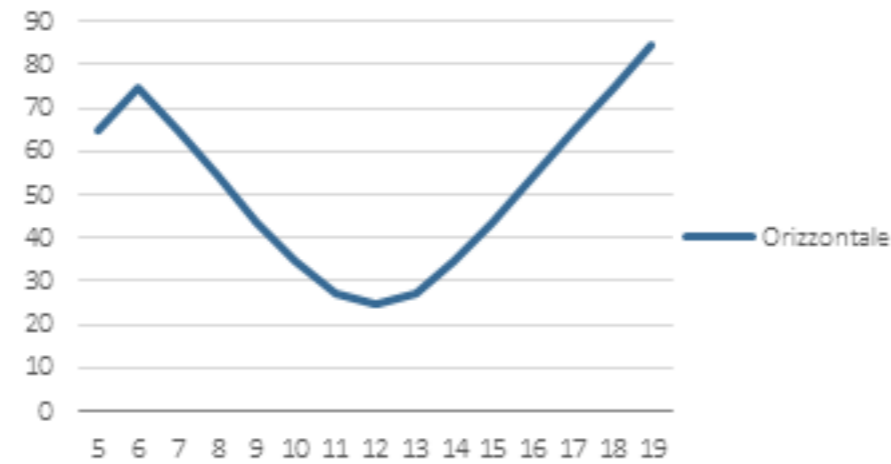
Ora	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord	Nord-Ovest	Ovest	Sud-Ovest	Orizzontale
5	90°	70,5°	26,0°	20,3°	64,7°	90°	90°	90°	64,5°
6	90°	61,4°	21,5°	33,1°	75,2°	90°	90°	90°	74,7°
7	90°	54,7°	26,0°	46,1°	85,3°	90°	90°	90°	64,5°
8	85,4°	51,2°	36,3°	59,1°	90°	90°	90°	90°	54,1°
9	77,4°	51,7°	48,7°	71,9°	90°	90°	90°	90°	43,9°
10	71,1°	56,1°	62,3°	84,3°	90°	90°	90°	90°	34,5°
11	66,9°	63,4°	76,1°	90°	90°	90°	90°	83,9°	27,4°
12	65,5°	72,9°	90°	90°	90°	90°	90°	72,9°	24,9°
13	66,9°	83,9°	90°	90°	90°	90°	76,1°	63,5°	27,4°
14	71,1°	90°	90°	90°	90°	84,3°	62,3°	56,1°	34,5°
15	77,4°	90°	90°	90°	90°	71,9°	48,9°	51,7°	43,9°
16	85,6°	90°	90°	90°	90°	59,1°	36,3°	51,3°	54,1°
17	90°	90°	90°	90°	85,3°	46,1°	26,1°	54,7°	64,5°
18	90°	90°	90°	90°	75,2°	33,0°	21,5°	61,5°	74,7°
19	90°	90°	90°	90°	64,7°	20,5°	26,1°	70,6°	84,5°

Nella pagina seguente si riportano i grafici che rappresentano tali valori per superfici verticali ed orizzontali. Si può notare come la facciate a Est e ad Ovest, abbiano valori uguali ma opposti a livello di orari durante la giornata. Nel caso di Nord e Sud, invece, la distribuzione risulta simmetrica ma con picchi nei momenti opposti. Si hanno conformazioni del grafico simili invece, per le orientazioni di Sud-Ovest e Nord-Ovest, da un lato, e Sud-Est e Nord-Est dall'altro.

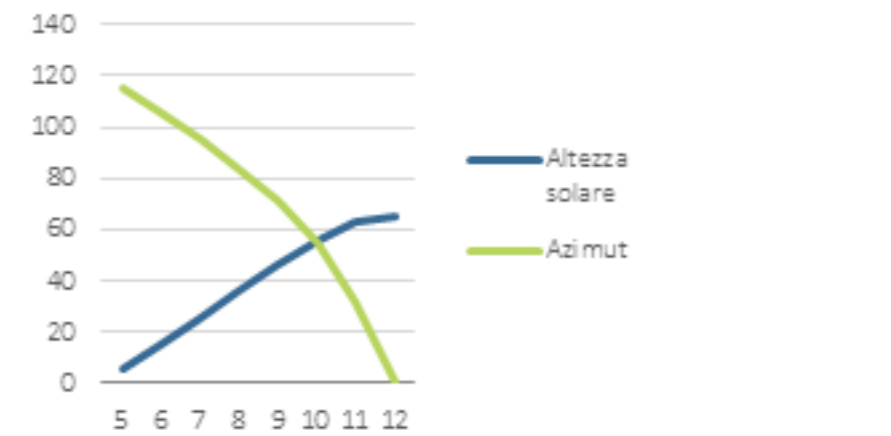
Sono inoltre rappresentati angoli di altezza solare ed azimutale massimi estivi per la latitudine di 46°.



Graf.05 Angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva per superfici verticali.



Graf.06 Angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva per superfici orizzontali.



Graf.07 Angolo di altezza solare ed angolo azimutale massimi estivi per la latitudine di 46°.

2.3.2.3 PRECIPITAZIONI

La *norma Uni 10349* non fornisce alcun tipo di valore relativo alla distribuzione e all'intensità degli eventi meteorici in Italia, tuttavia, affrontando il problema della progettazione eco-sostenibile, è importante considerare tutte le variabili esterne che potrebbero essere utili o dannose nei confronti dell'edificio.

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

Tab.17 Parametri di precipitazione dal 2000 al 2009, ISTAT.

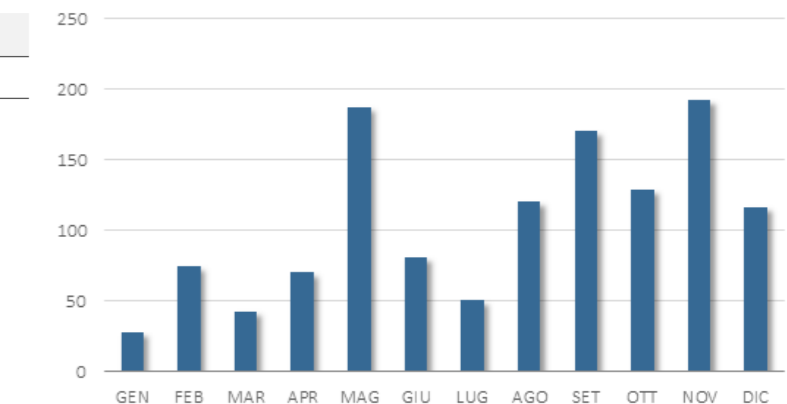
Precipitazioni media annua	[mm]	884,15											
Precipitazioni medie mensili	[mm]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Giorni con idrometeora	[gg]	6	6	6	8	8	7	-	-	-	8	14	5

Al fine di garantire un corretto dimensionamento degli elementi dell'edificio, legati alle acque meteoriche, è opportuno valutare non tanto i valori medi, quanto gli eventi critici per quanto riguarda durata, intensità e altezza di pioggia nei giorni con maggior idrometeora e le durate dei periodi di siccità.

Tramite i rilevamenti dell'osservatorio di Milano forniti dal sito ufficiale, è stato possibile ricavare i seguenti dati in mm/giorno relativi alle quantità di precipitazioni rilevate per ogni mese nell'anno 2010.

Tab.18 Precipitazione giornaliera media mensile rilevata nell'anno 2010.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
28	74,8	43	70,2	187,6	81,2	50,4	120,6	170,4	129,2	192,6	117

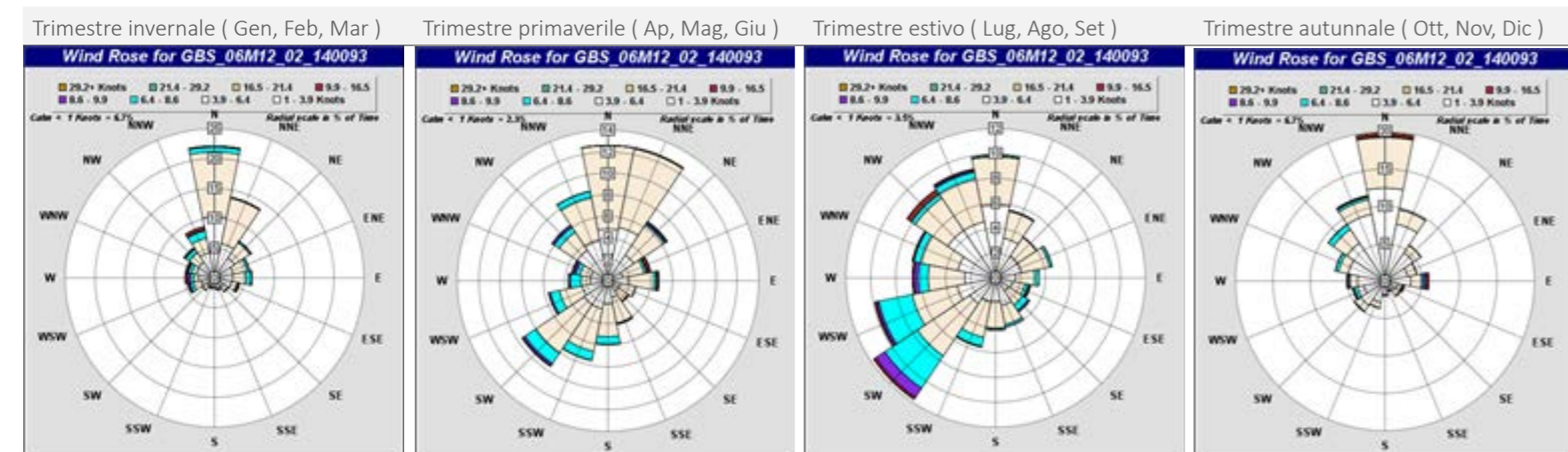


Graf.08 Precipitazioni medie mensili anno 2010.

2.3.2.4 VENTI E BREZZE

I venti insistenti sul territorio di Milano vengono descritti attraverso parametri di direzione e velocità. La direzione del vento viene espressa in gradi sessagesimali [°] attraverso i quali si indica l'ampiezza dell'angolo rispetto allo zero, posto convenzionalmente a Nord. I dati riportati sono sotto forma di medie orarie e riguardano la stazione meteorologica in via Gerolamo Arganini (MI) ad una distanza dall'area di progetto di 4,75 km. Essi sono forniti dal software Green Building Studio della casa produttrice Autodesk.

Il grafico della rosa dei venti, riportato nella figura sottostante, evidenzia con quale frequenza il vento spira da una determinata direzione: le zone colorate del grafico sono quelle dove percentualmente si sono verificate più spesso le direzioni di provenienza. La velocità del vento è espressa nodi [knots] (1 nodo = 0,514444 m/s).



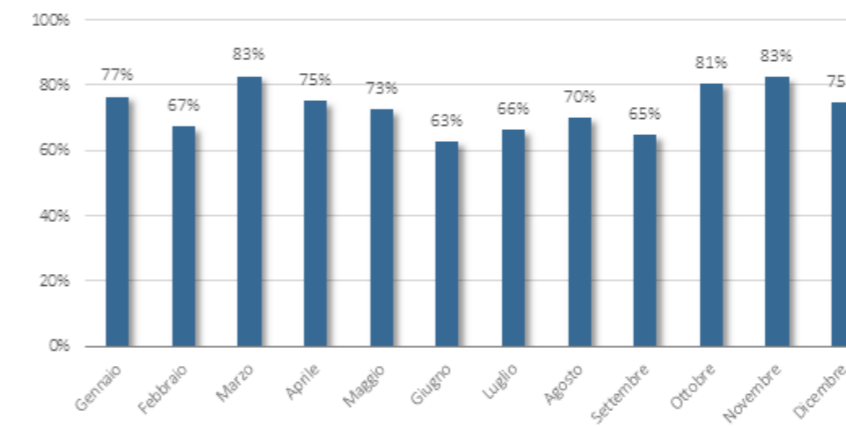
Graf.09 Direzioni del vento prevalenti.

2.3.2.5 UMIDITA' RELATIVA

Il problema del controllo dell'umidità relativa (U.R.) è correlato alla sensazione dell'uomo di provare caldo o freddo (ovvero la temperatura percepita). Infatti, un'umidità relativa maggiore, porta ad avvertire maggior calore rispetto al caso opposto.

In condizioni di umidità relativa superiore al 70%, l'ambiente riduce la capacità di accumulare il sudore emesso dal corpo umano (utilizzato come mezzo di raffreddamento evaporativo), impendendo il meccanismo naturale di regolazione della temperatura corporea, quindi accentuando la sensazione di caldo; al contrario, in una situazione di umidità relativa inferiore al 20%, le membrane mucose si seccano, e ciò porta ad una sensazione di freddo.

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



Graf.10 Umidità relativa media mensile.

Nel grafico presente in questa pagina sono riportate le medie mensili del valore di questo parametro nell'aria. I dati si riferiscono ai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano. la media ottenuta è basata sui valori degli ultimi 10 anni.

In generale, durante l'arco dell'anno vi sono delle variazioni dell'umidità relativa intorno al 20% con un leggera diminuzione nei mesi estivi. I valori risultano sempre superiori agli standard di comfort descritti nel capitolo successivo, sarà quindi necessario progettare delle strategie attive o passive di deumidificazione dell'aria interna agli ambienti di progetto.

Tali strategie, possono però non essere unicamente di tipo impiantistico. Una buona progettazione, basata su una distribuzione di locali e aperture mantiene le temperature interne ad un livello accettabile senza l'aggiunta di strategie attive. Il problema principale dell'umidità è comunque in fase estiva. La presenza di aperture opposte che permettono ventilazione trasversale naturale possono essere una buona soluzione per mantenere il comfort senza l'utilizzo di sistemi attivi.

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

2.3.2.6 COMFORT TERMICO

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

- parametri fisici: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, pressione atmosferica;
- parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento;
- fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali;
- fattori psicologici e culturali.

In base alle condizioni sociali e ambientali è possibile individuare diversi gradi di accettazione degli scenari di comfort che variano in funzione della temperatura esterna e della ricchezza della società. In una società come la nostra, è necessario valutare un grado di comfort elevato descritto dai seguenti parametri:

Tab.19 Parametri di comfort.

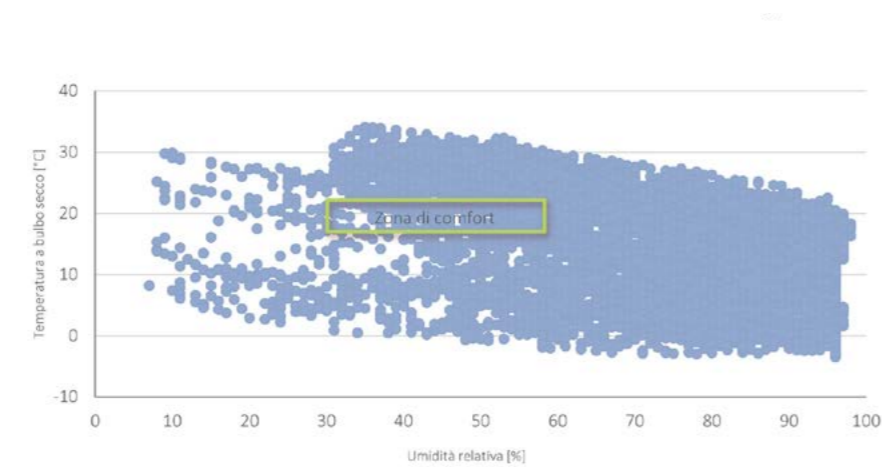
	Estate	Inverno
Temperatura dell'aria	26°C	20°C
Umidità relativa	30% < U < 60%	30 % < U < 50%
Velocità dell'aria	0,1- 0,2 m/s	0,05- 0,1 m/s
Temperatura effettiva	20- 22 °C	16- 18 °C

Confrontando i valori di UR medi mensili, con i parametri di comfort e considerando che l'attività umana solitamente produce un aumento dell'U.R. di un ambiente, sarà necessario valutare delle strategie per rimanere entro i limiti degli standard di comfort.

Come già detto, tali strategie non devono essere necessariamente impiantistiche e attive. Per alcuni locali, soprattutto quelli meno affollati, possono essere suffi-

cienti strategie conservative o basate su sistemi fisico-naturali, senza ricorrere ad elementi più complessi.

E' possibile definire una visione generale del clima milanese attraverso il diagramma di Olgyay rappresentato di seguito, che riporta la combinazione di temperature a bulbo secco [°C] ed umidità relativa [%] nell'arco dell'anno, rilevate per ogni ora. I dati si riferiscono ai rilevamenti effettuati dal Comitato Termotecnico Italiano sull'area di Milano mediati negli ultimi 10 anni.



Graf.11 Grafico Olgyay.

03

NUOVA SFIDA TECNOLOGICA

3.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA TECNOLOGIA
COSTRUTTIVA: I MODULI PREFABBRICATI

3.1.1 La prefabbricazione in architettura ed
edilizia

3.1.2 Architetture di moduli prefabbricati

3.1.3 Abitare il container

3.2 LA NUOVA DESTINAZIONE D'USO

3.3 CONCEPT

Nel presente capitolo si spiega il passaggio che c'è stato fra il progetto concluso durante il concorso Compasso Volante e quello attuale.

Identificata la nuova soluzione tecnologia, corrispondente ai moduli prefabbricati, si espone brevemente un'analisi sulla razionalizzazione e sull'industrializzazione dei processi architettonici ed edilizi. In seguito, al fine di comprendere come attualmente si opera con elementi preassemblati, si analizzano alcuni progetti contemporanei, prendendo in considerazione sia quelli realizzati mediante il riutilizzo di container commerciali, sia quelli derivanti dalla composizione di celle prefabbricate.

Si dichiara inoltre nello specifico la tipologia modulare utilizzata per il progetto di tesi, con una breve introduzione relativa al progetto di Campus Point, del Politecnico di Milano.

Si pone inoltre un breve accenno sulla vivibilità all'interno di spazi predefiniti e di ridotte dimensioni, con il supporto di progetti esistenti.

In conclusione, s'introduce il tema del design milanese e, nello specifico, della libreria, elementi dai quali è nato il concept progettuale, base fondante dello sviluppo di tutto il progetto.

3.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA: I MODULI PREFABBRICATI

Il progetto presentato in questa tesi nasce, come già anticipato, dall'esperienza del Premio Compasso Volante, la quale ci aveva viste impegnate nello sviluppo di un edificio progettato con una tecnologia stratificata a secco. Un primo tentativo di ottimizzazione di questa soluzione era stato compiuto adottando una sistema di prefabbricazione parziale delle facciate (tipo "Cocoon System"). S'intravede infatti in Flora un ordine e una razionalizzazione dei volumi e dei fronti dell'edificio, combinati ad altrettanta ricerca verso i materiali e le strategie energetiche adottate.

Pur essendo la soluzione tecnologica tipo "Cocoon" innovativa, la stessa non offriva forti spunti e nuove problematiche da poter analizzare. Per questo motivo ci siamo volute addentrare in una sfida che, seppur inizialmente più insidiosa, ci ha concesso di scontrarci con delle criticità che sono però state esse stesse le coordinate per l'avanzamento del progetto e, infine, la sua conclusione.

La tecnologia attraverso la quale poter seguire questo percorso, è quella dei moduli prefabbricati, ottenuti dall'implementazione di container abitativi. Non si tratta in questo elaborato del riutilizzo di container per il trasporto di merci, ma dell'implementazione di container industriali, solitamente utilizzati in ambito cantieristico, sanitario, in casi di emergenza o dove vi siano esigenze di alloggio temporanee.

In questa sede, con i termini "moduli prefabbricati" s'intendono delle vere e proprie porzioni di edificio che giungono in sito complete di chiusure e partizioni, sistemi impiantistici e finiture.

Come un progetto tradizionale racchiude in se una serie di fasi operative e problematiche da dover organizzare e risolvere, così una progettazione modulare e prefabbricata ne racchiude altre. Ancor prima di approfondire l'argomento, sorgono spontanei alcuni quesiti, riguardanti i seguenti aspetti:

- tipologia di prefabbricazione;
- caratteristiche del modulo;
- elementi strutturali e nodi costruttivi;
- definizione delle stratigrafie e delle prestazioni energetiche;
- studio del layout interno;
- resa architettonica e rapporto con il contesto;
- trasporto degli elementi;
- posa in opera e vincoli di cantiere;
- durabilità dell'opera.

Fin dall'inizio si è appreso che ogni singolo ambito progettuale sarebbe stato strettamente connesso alla tecnologia adottata, e che la vera sfida sarebbe stata saper rendere gli elementi vincolanti, quelle rigidità che si pensa possano essere tipiche di una cellula prefabbricata, in strumenti di progettazione favorevoli e semplici.

L'ultimo aspetto, non certo per importanza, legato all'utilizzo di moduli prefabbricati, risiede nel fatto che solitamente questa tipologia di tecnologia viene adottata per la realizzazione di opere temporanee, spostabili e riutilizzabili.

Nel caso in oggetto si vuole invece realizzare un edificio stabile e durevole, senza alcuna differenza rispetto a quanto si farebbe con il ricorso ad una tecnologia tradizionale.



Fig.87 Esempi di architetture realizzate mediante moduli prefabbricati o container.

3.1.1 LA PREFABBRICAZIONE IN ARCHITETTURA ED EDILIZIA

Nel pensare comune, accade spesso che la parola "pre-fabbricazione", così come "industrializzazione" ad essa affine, vengano colte, in ambito architettonico, con occhio critico. Si ha con frequenza il timore di percepire la progettazione prefabbricata come imitazione di una produzione asettica e rigida, tipica ad esempio della produzione in serie automobilistica. Si tende ad associare i processi ottimizzati e razionalizzati, alla rinuncia della flessibilità, della libertà architettonica, della bellezza e del comfort degli spazi, poiché tutto è subordinato al sistema costruttivo.

Eppure il ricorso alla prefabbricazione, indice di razionalità insito nella natura umana, non ha un inizio né nel tempo, né nello spazio. Prima del laterizio, dei pannelli in legno e in cartongesso, già i romani e gli egizi confezionavano fuori dal cantiere gli elementi necessari alla costruzione. Questo processo, consolidato fortemente nella storia, affronta un primo sviluppo con l'avvento dell'industrializzazione. Nascono i pionieri dell'architettura ingegneristica e l'architettura si avvicina alla società industriale. Materiali, composizione architettonica e forma si relazionano ora anche ai tempi e ai modi di realizzazione delle opere. La precisione dei prodotti realizzati nelle fabbriche si trasferisce ai materiali per l'edilizia, così come l'ottimizzazione delle risorse e la necessità di ridurre al minimo sprechi e sfridi.

Il grado di prefabbricazione e la sperimentazione, durante gli anni della rivoluzione industriale, sono in continua crescita in diversi settori produttivi. In architettura e ingegneria, che divengono sempre più vicine, il tutto avviene sin dalla fine del settecento, quando Paxton, Eiffel e Snow stavano aprendo la strada a Gropius, Fuller, Le Corbusier e Nervi.

E' di assoluta importanza notare che i riferimenti citati non rimandano ad economisti o disastri dell'architettura, ma ad autori di opere di indiscusso valore, architettonico, ingegneristico e tecnologico.

Questo breve excursus è significativo, e consente di apprendere che è effettivamente possibile utilizzare una tecnologia fortemente industrializzata per creare un edificio dal valore architettonico e ingegneristico.

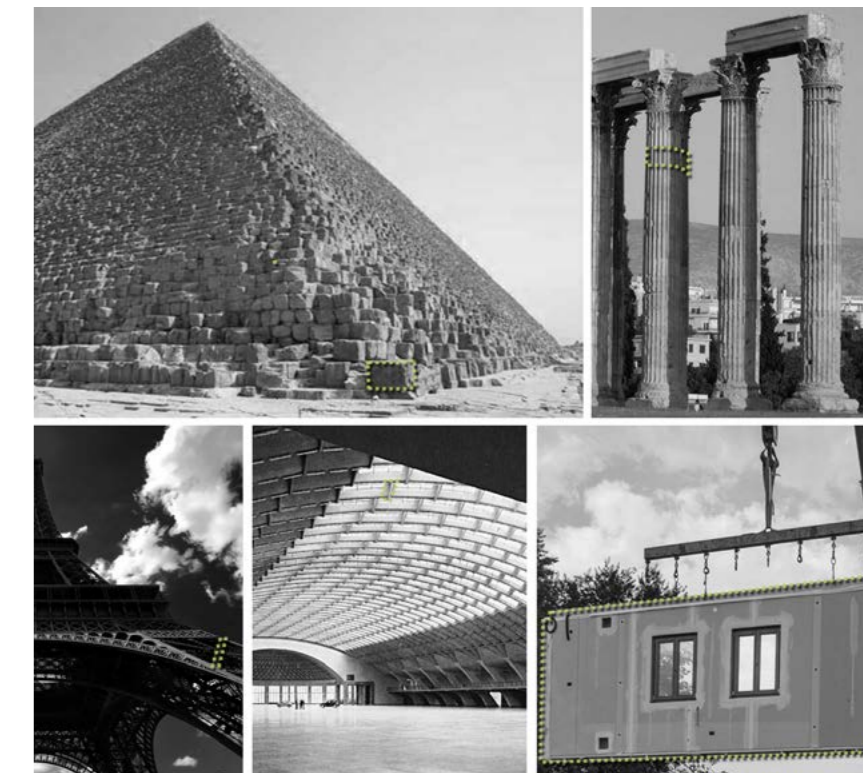


Fig.88 Esempi di prefabbricazione nella storia: la piramide di Cheope, Tempio Greco dell'Isola di Paros, Tour Eiffel, Sala Nervi nel Centro Esposizioni di Torino, parete prefabbricata stratificata a secco.

3.1.1.1 IL MODULO PREFABBRICATO

La tecnologia adottata in questa tesi riprende un elemento prefabbricato per eccellenza, nato tuttavia per esigenze estranee a quelle dell'abitare: il container.

L'impulso al quale si deve la nascita di questo elemento è però affine a quello che ha avvicinato industria e architettura, in quanto dovuto all'esigenza di ottimizzare i trasporti delle merci.

“Il 26 aprile 1956 una gru imbarcò su una vecchia petroliera attraccata a Newark, nel New Jersey, cinquantotto cassoni di autocarro in alluminio. Cinque giorni dopo, la Ideal-X, attraccò a Houston (...) il viaggio passò inosservato. Nessuno poteva immaginare che quella data segnava l'inizio di una rivoluzione. Nessuno credeva possibile che una semplice scatola di metallo avrebbe potuto trasformare la logica e la scala del trasporto merci” [Levinson, The box, 2007].

Questi volumi facilmente reperibili, riciclabili o di nuova realizzazione, impilabili, resistenti, leggeri ma durevoli, semplici ed economici, hanno attirato l'attenzione anche del mondo delle costruzioni. La moderna necessità di ridurre i tempi di cantiere, di rendere più sicuri gli ambienti di lavoro e la mancata possibilità di ricorrere sempre a personale specializzato, conferiscono ai moduli prefabbricati notevole visibilità.

L'attenzione aumenta soprattutto quando si comprende che, da volume primario ed inesplicito, rigido e impersonale, dal carattere grezzo e industriale, un container può divenire architettura. Non solo, se correttamente adattato può risultare sostenibile e performante, completo dei servizi di cui necessita una normale attività ed in grado di svolgere autonomamente le funzioni portanti (in relazione al numero di piani).

Nel corso degli anni i container hanno subito un'ulteriore standardizzazione e

si sono adattati alle esigenze di trasporto mediante ruota, gomma e via nave. Le dimensioni individuate sono strettamente legate ai limiti imposti dal traffico urbano e dai codici della strada (per il trasporto su gomma), i quali si sono parzialmente adeguati alla diffusione a livello mondiale di questa soluzione. L'ingombro degli elementi è infatti il loro principale vincolo. La loro capacità di carico, ad esempio, unita alle molteplici e razionali modalità di stoccaggio non pongono limiti particolari al loro utilizzo.

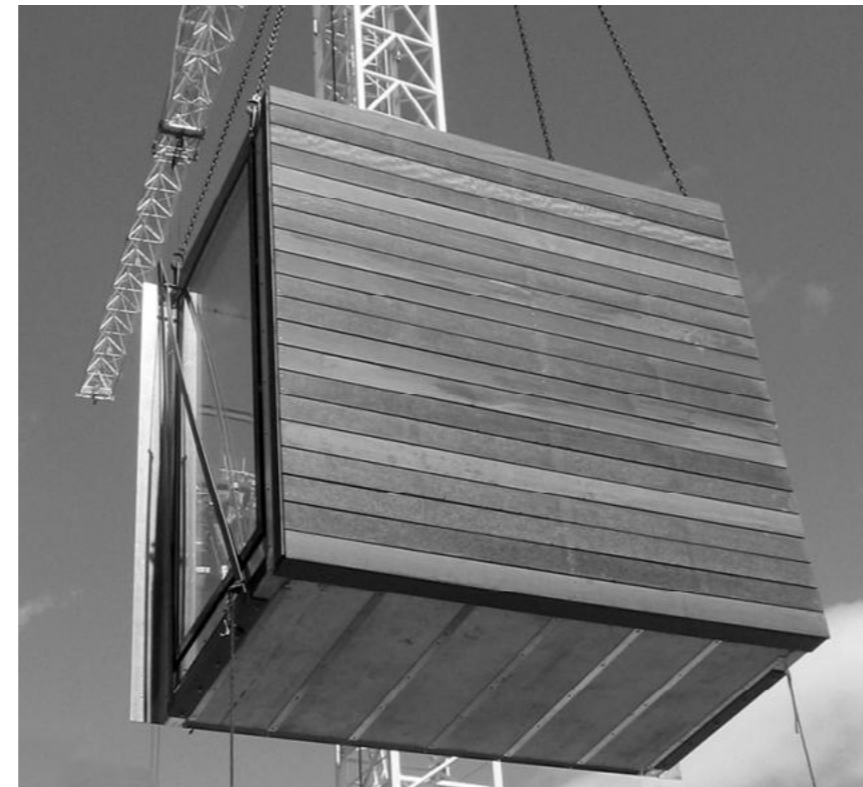


Fig.89 Movimentazione di un modulo prefabbricato, progetto MOHO Apartments.

3.1.2 ARCHITETTURE DI MODULI PREFABBRICATI

Si assiste sempre più, ad un ricorso ai moduli prefabbricati, siano essi container o altro, per la realizzazione di opere che ospitano le più svariate destinazioni d'uso. Si ritiene opportuno analizzare e capire come e perché vengono utilizzati questi elementi, le potenzialità che fino ad ora sono state sperimentate e le debolezze che sono state più o meno risolte. Si riporta pertanto una sintesi di un panorama che è molto vasto e in continua evoluzione, citando le opere ritenute significative e innovative, soprattutto in relazione al presente lavoro.

MY MICRO NY_NEW YORK_ nARCHITECTS, 2013

Questo progetto è il vincitore per il concorso adAPT NYC per “adattare” la Grande Mela all'elevata richiesta di appartamenti di piccolo taglio.

Di qui l'esigenza di creare soluzioni abitative più accessibili, specialmente a quella fascia della popolazione, in costante aumento, composta da single, coppie, studenti, giovani o anche anziani rimasti soli.

Per colmare questo vuoto, il comune di New York ha lanciato un bando in cui chiedeva appunto di progettare un edificio fatto di micro-case, accessibili e adatte a questo tipo di esigenze. Il progetto prevede un edificio di 10 piani composto da moduli prefabbricati assemblati in loco che andrà ad occupare un'area attualmente adibita a parcheggio. I moduli conterranno le 55 unità abitative che avranno metrature dai 23 ai 34 mq e saranno dotate di soffitti alti (circa 3 metri), una vetrata a tutta altezza e un piccolo balcone.

Lo spazio interno è organizzato a partire da una divisione: da un lato la cucina, il bagno e il ripostiglio e dall'altro la zona soggiorno e il letto. È bene specificare che, come per il presente progetto di tesi, MY MICRO NY non utilizza container industriali riciclati ma, bensì, delle vere e proprie cellule abitative prefabbricate. La concretezza di questo progetto e il sito nel quale verrà realizzato, unitamente al taglio degli alloggi, costituiscono un valido sostegno alla scelta che è stata fatta per realizzare MODULA. Anche il rapporto con l'utenza è aspetto interessante di cui l'opera tiene conto. Il progetto rappresenta una perfetta sintesi di privacy e condivisione. Servizi e spazi in più sono stati ricavati nelle aree comuni: dal portico al piano terra al giardino sul tetto. Ci saranno un bar, sale polifunzionali, la lavanderia, uno spazio deposito, bike room e palestra. Una sorta di fusione tra il condominio tradizionale e il cohousing.



Fig.90 My Micro NY, render fotorealistico.

MOHO APARTAMENTS, MANCHESTER_ Shedkm_ 2006

Così come il progetto precedente, anche questo è composto da volumi prefabbricati, atti a formare un complesso di 7 livelli all'interno dei quali disporre un centinaio di alloggi, di taglio principalmente piccolo.

Il nome stesso significa MODular HOusing, in quanto gli alloggi sono formati da moduli standard profondi 12,15 m. Come nel caso precedente, al piano terra sono demandate prevalentemente le attività commerciali o collettive, distribuite attorno alla corte centrale dell'edificio. Sotto il giardino della corte sono stati ricavati spazi per ambienti a servizio della residenza.

Ai piani superiori sono invece collocati gli appartamenti, connessi orizzontalmente da ballatoi o corridoi centrali. La riuscita del progetto risiede nel compattare gli appartamenti in piccoli contenitori, garantendo al contempo uno spazio vivibile e luminoso. Lo studio degli arredi risulta in queste condizioni una fase fondamentale e necessaria. Solo così è possibile evitare quel senso di costrizione che uno spazio ridotto potrebbe indurre. Il layout della residenza si sviluppa ponendo il lato corto della "scatola" agli estremi dell'edificio, le cui facciate ne manifestano la presenza.

Non vi è stato infatti alcun tentativo di celare la tecnologia utilizzata. L'unico filtro, che ripara gli utenti sia in termini di privacy che di comfort visivo e termico, è costituito dai frangisole presenti lungo il ballatoio.



Fig.91 Fotografia del fronte strada, Moho Apartments.

EX-CONTAINER PROJECT, JAPAN_ Yasutaka Yoshimura Architects_2011

Lo studio giapponese utilizza i container per la realizzazione di spazi abitativi, prima in una situazione d'emergenza (in concomitanza con il sisma verificatosi in Giappone nel 2011) e poi, per una soluzione permanente (Bayside Marina Hotel, Kanagawa). Questa soluzione ha permesso di riutilizzare un progetto apportando solo piccole modifiche, dimostrando anche la possibilità di riutilizzo e la flessibilità dei container in architettura. Nello specifico i moduli sono di dimensioni standard (2.4 x 12m, M = 12), con le varie unità posizionate in differenti allineamenti per assicurare maggiore privacy. La progettazione, l'assemblaggio e la finitura dei moduli è stata realizzata in Thailandia e, in Giappone, sono state semplicemente trasportate le unità, imbullonate e collegate agli impianti precedentemente predisposti. In entrambi i progetti, abbattimento dei costi e tempi di costruzione nonché l'uso di giunti non saldati ne assicura il loro futuro riutilizzo altrove. Oltre alla vivibilità degli spazi, di particolare rilievo è l'assenza di una struttura secondaria e l'esecuzione delle connessioni fra i vari container mediante un nodo meccanico, di semplice esecuzione.

In questo caso la matericità dei container è celata dalla finitura, sia interna sia esterna. Si percepisce tuttavia la modularità dei volumi e degli spazi, per ogni singolo alloggio e per l'interno progetto.



Fig.92 Vista esterna del complesso che costituisce l'hotel.

Fig.93 Prefabbricazione dei moduli all'interno di un capannone industriale.

ALLOGGI PER STUDENTI, LE HAVRE, FRANCIA_

Olgga Architects_ 2011

Lo studio francese Olgga Architects ha progettato un complesso di appartamenti per studenti costituito da 100 container riciclati. Il merito di Olgga è stato quello di ridare vita a quelle scatole ormai in disuso, impilandole con un ritmo originale di sbalzi e rientranze, e dando al contempo alloggi per studenti. La tradizione francese ha sempre avuto un rapporto "sereno" con le costruzioni prefabbricate. Questo edificio ne è una moderna manifattura: imponente, solido ma soprattutto economico e sostenibile. Le scelte cromatiche e l'impatto della luce sulle lamiere grezze dei container regalano dinamismo al ritmo compositivo dei prospetti. Da un punto di vista strutturale va sottolineata l'esigenza di ricorrere ad un vano scale, non realizzato con container, come controvento, oltre che di distributivo. Risulta evidente che la superficie a disposizione non costituiva un vincolo altamente restrittivo, come può essere invece in centro a Milano. Qui, infatti, viene posto un corpo scale ogni due container.

Lo sviluppo in pianta degli alloggi è modulare e garantisce sia le funzioni minime richieste per uno studentato (in ogni container ci sono l'angolo cottura, il bagno, il letto, una scrivania, finestre e finitura in parquet) che un ottimo livello di comfort acustico e termo-igrometrico.

In questo progetto è fortemente evidente il ricorso ai container, la cui matericità e forma non vengono assolutamente nascoste.



Fig.94 Vista notturna del complesso residenziale.

Fig.95 Vista frontale degli appartamenti.

PLATOON KUNSTHALLE, SEOUL_

Graft Architects + platoon Kunstalle_ 2009

Il progetto nasce dalla necessità d'inserire, nell'area centrale del triangolo della moda e del design di Seoul, una galleria d'arte contemporanea. La realizzazione è avvenuta mediante l'utilizzo di 28 container da trasporto. Questi poggiano su una platea di fondazione in calcestruzzo. La pianta è regolare ma non preclude la possibilità di concepire un'organizzazione spaziale complessa e dinamica. I moduli, disposti al piano terra lungo i lati maggiori del rettangolo di base, sono strutturati in blocchi distinti, che in parte si ricongiungono al terzo piano e in parte realizzano terrazze a livello. I distacchi fra i container sono connessi mediante le superfici vetrate.

Un ampio infisso a est e una tamponatura in pannelli foderati sull'esterno da lamiere grecate, chiudono i lati minori, ad est ed ovest. Il riutilizzo dei moduli è totale: i parapetti delle terrazze sono realizzati disponendo in orizzontale i portelloni metallici rimossi dalle testate di sedici container. Il progetto è stato assemblato in tre mesi per autocostruzione ed è un organismo polivalente e versatile. Lo spazio, è stato infatti pensato per accogliere i movimenti artistici alternativi, quali street art, graphic design, moda, video d'arte, mostre, film notturni, workshops per artisti, musica club culture, ma anche per dar vita ad eventi di attività politiche e di discussione.

L'uso dei container in questo progetto è emblematico di un'architettura flessibile che diviene punto di riferimento per il territorio. I container sono, in questo caso, uno strumento fortemente mediatico e comunicativo, che adempie ad una delle funzioni demandate ad un'opera architettonica, ossia quella di racchiudere e manifestare un significato ben preciso. L'importanza del Platoon di Seoul è dovuta anche all'ottimizzazione e alla razionalizzazione delle risorse.

Oltre alla tecnologia, resa in questo caso sostenibile, anche la manodopera e i progettisti sono stati scelti fra quelli locali, rendendo ulteriormente l'edificio a km 0 e incentivando la produzione locale.



Fig.96 Platoon Kunstalle, galleria d'arte contemporanea a Seoul.

KUNSTLAB ORBINO, NOORD-HOLLAND_

Luc Deleu_ 2002

Attraverso questo progetto si scopre un'ennesima destinazione d'uso per i container. Si tratta di una semplice struttura di 5 container disposti ad L rovesciata, che sfrutta le caratteristiche di robustezza e stabilità di cui è dotata questa unità modulare, per creare un'opera d'arte contemporanea, un contenitore di cultura che fosse al tempo un edificio riutilizzabile per altre funzioni. La struttura portante utilizza un vano scale in acciaio e un sistema di tiranti e puntoni che permette di creare un oggetto costituito da due container. Non è questo il primo caso in cui il corpo scale diviene elemento strutturale sul quale far gravare il carico dei container.



Fig.97 Fotografia del Kunstlab Orbino di Noord Holland.

FREITAG STORE, ZURIGO, SVIZZERA_

Spillman & Echsle_ 2006

In questo progetto i container sono adibiti ad una destinazione d'uso ancora differente, rispetto a quelle mostrate fin ora. La loro conformazione viene sfruttata per formare un grande segno, un elemento di richiamo e di pubblicità a favore della committenza. Spillman & Echsle hanno proposto di sfruttare tutta l'altezza consentita dal regolamento edilizio della zona, 26 metri, impilando l'uno sull'altro nove container. Un primo esempio nel quale i container superano gli usuali due o tre livelli in alzato. Lo spazio interno è semplice e lineare. La luce naturale penetra attraverso quattro grandi vetrate, a sostituzione di alcuni tamponamenti dei moduli. Un accorgimento semplice che diviene quasi una costante nelle opere costruite con i container e che, in questo progetto, diventa un forte elemento di richiamo soprattutto durante le ore notturne. L'elemento tecnico più caratteristico è costituito dai controventi della torre, esibiti sul prospetto principale.



Fig.98 Fotografia del Freitag Store, Zurigo.

FUTURE SHACK_

Sean Godsell architects

I container sono stati e sono tutt'ora largamente utilizzati in situazioni abitative d'emergenza. Con questo progetto si vuole parlare di architettura, per l'emergenza. Eventi recenti hanno posto all'attenzione la necessità non solo di rispondere alle urgenze abitative delle aree colpite, ma anche di sperimentare con libertà e inventiva soluzioni architettoniche che restituiscano dignità all'abitare temporaneo. In casi di emergenza è fondamentale fornire soluzioni economiche, auto-sufficienti, sostenibili e riciclabili. Così è nata l'idea di ricorrere ad un container per dar vita ad una residenza. Larga e alta circa 2,40 metri, la struttura ha una lunghezza di circa 6,10 metri, copre una superficie di 15 metri quadrati, e sono sufficienti solo 24 ore per assemblarla. La copertura parasole a doppia falda e la tettoia aggettante sull'ingresso, richiamano l'archetipo della casa tradizionale. La copertura è in plastica riciclata ed è dotata di celle solari per la produzione di elettricità. Il container è dotato di un elevato isolamento termico che, associato alla ventilazione naturale che si crea grazie a bocchette apribili in copertura per la circolazione dell'aria, assicura un alto livello di comfort interno. Due coppie di gambe di appoggio telescopiche, dotate di un'ampia e robusta base rotante, eliminano la necessità di particolari opere di preparazione del terreno. I meccanismi di fissaggio sono elementari e richiedono conoscenze di base, la manutenzione stessa è semplice, rapida ed economica. Questa piccola casa, seppur non paragonabile a livello dimensionale al progetto che si espone in questa tesi, è l'esempio perfetto dell'unione di architettura, design ed etica: si tratta di un'architettura che soddisfa più i bisogni che i desideri ma, come tutti i progetti di qualità, finisce col riuscire in entrambi i propositi. L'architettura è lo strumento idoneo a rendere le risorse di cui disponiamo accessibili anche a coloro che non possono sfruttarle, e qui la tecnologia è a servizio del ruolo etico di una sfida così ambiziosa.



Fig.99 Esposizione della "Future Shack", Sean Godsell Architects.



Fig.100 Interni di una "Future Shack".

NOMADIC MUSEUM, NEW YORK, SANTA MONICA,
TOKYO _ Shigeru Ban_ 2007

Il progetto “nomade” mostra, fra le tante, una delle caratteristiche principali delle costruzioni modulari: la mobilità. Qui, centocinquanta container navali, un tetto e una struttura interna in tubi di cartone formano un museo itinerante che ospita le opere del fotografo canadese Gregory Colbert. La mostra si sposta fra le varie città, nelle quali i container vengono assemblati e poi rismontati per costruire la struttura temporanea che ospita la mostra. L’idea di utilizzare i container navali, di creare una struttura in cartone, la ghiaia e il legno per la pavimentazione interna, si rifà al concept, improntato sui temi della sostenibilità e del riciclo. Come unico ausilio alla costruzione, i progettisti hanno fatto realizzare giunti in ferro a sostituzione dei corner casting di connessione fra i moduli. Il basamento per il montaggio dell’intero edificio è costituito dall’asfalto esistente.



Fig.101 Fotografia notturna del Nomadic Museum.

THE SALAM CENTRE FOR CARDIAC SURGERY, SUDAN_
Tamassociati _ 2007

Anche gli architetti italiani sanno utilizzare i container e progettare con essi. Lo dimostra la Menzione d’Onore per la categoria Architettura ed Emergenza per il progetto del Container Medical Compound conferito allo studio veneziano. La capacità è stata quella di riutilizzare 97 container, rimasti sul sito in seguito alla realizzazione del nucleo ospedaliero principale. Nati per il trasporto dei materiali, con questo progetto sono reimpiegati come struttura per il nuovo lotto dell’ospedale. Da un punto di vista tecnologico ed energetico, le alte temperature esterne e le polveri provenienti dal deserto vengono attraverso un sistema di coibentazione stratificata a secco e una “pelle” composta da un controtetto metallico ventilato e un sistema frangisole in bambù, protegge la superficie esterna da un eccessivo irraggiamento.



Fig.102 Patio del complesso ospedaliero del Sudan.

KEETWONEN (AMSTERDAM STUDENT HOUSING),
AMSTERDAM_Tempo Housing_2006

L’Olanda è uno dei paesi in vetta, alla classifica degli utilizzatori di container in ambito edilizio. Non per nulla, la più grande container city del mondo si chiama OlandaKeetwonen. Vivere in un container riciclato è il nuovo concetto dell’abitare lanciato da Tempo Housing.

La bellezza di questo progetto risiede nel suo successo, ossia nel fatto che Keetwonen ha è il secondo dormitorio con più richieste da parte degli studenti olandesi. Il timore iniziale di alcune persone era che le case container sarebbero state troppo piccole, rumorose, troppo fredde o troppo calde, ma tutto questo si è rivelato assolutamente infondato: infatti le residenze sono spaziose, silenziose e ben isolate e sicuramente di un rapporto qualità / prezzo più vantaggioso, rispetto alle case degli altri studenti in città.

Un’altra conferma del fatto che il container può essere reso gradevole e confortevole e che, la prefabbricazione, non è nemica dell’architettura e del piacere di permanere in un ambiente.

Probabilmente, la buona riuscita del progetto è dovuta al fatto che sia stato concepito sullo stile di vita degli studenti: un posto intimo dove mantenere intatta la propria privacy ma al contempo con ampie possibilità di partecipare alla vita sociale del dormitorio.

Fig.103 Dettaglio del prospetto della student house di Amsterdam.

Fig.104 Facciata e corte interna del Keetwonen di Amsterdam.



COVE PARK SHIPPING CONTAINERS, ROSNEATH, SCOZIA _ Urban Space Management_1999

I progetti precedenti presentavano opere dove gli elementi prefabbricati erano, seppur in maniera diversa, tutti accorpati fra loro. In questo caso i container formano un complesso di residenze per artisti realizzate nella natura incontaminata della Scozia. Cove Park è un centro internazionale per l'arte e i mestieri creativi, che si estende nella penisola di Rosneath, sulla costa occidentale della Scozia. L'obiettivo del centro è di fornire uno spazio di confronto e un fertile luogo di lavoro ad artisti di tutto il mondo, tramite soggiorni che possono durare da una settimana a sei mesi.

Le residenze degli artisti sono state progettate dallo studio di architettura Urban Space Management, che ha pensato di utilizzare un materiale di recupero, il container appunto: dall'assemblaggio di diversi container nascono le unità abitative di Cove Park. Notevole è l'inserimento nell'ambiente, riuscito soprattutto mediante il manto erboso che copre il tetto dei box. La continuità con il contesto permane anche grazie alla sostituzione di una parete con ampie vetrate scorrevoli e mediante l'aggiunta di oblò che aumentano l'illuminazione naturale all'interno. Anche in questo caso la rapidità di costruzione è una caratteristica predominante e vincente: i primi sei container di Cove Park sono stati montati in soli tre giorni.



Fig.105 Fotografie del complesso residenziale di Cove Park, Scozia.

3.1.2.1 L'ESPERIENZA CAMPUS POINT

In previsione della realizzazione del Nuovo Campus Universitario di Lecco, si era ritenuto necessario il ricorso a spazi adeguati dove localizzare temporaneamente le attività di ricerca dell'Università. Nasce così lungo via Ghislanzoni a Lecco, Campus Point, progettato dal Prof. Arturo Montanelli (Studio Ar.de.a Srl di Lecco). L'opera è costituita da un insieme di 27 container rossi, articolati su tre livelli che, oltre a dare una risposta operativa e rapida alle necessità richieste, sono pervenuti a significativi standard di qualità formale e tecnologica. La facciata è movimentata dall'estrusione variabile di alcuni moduli, e lo studio delle tecnologie, dei materiali e dalle tinte utilizzate, discostano l'edificio dalle tipologie edilizie tradizionali locali sottolineando il carattere innovativo del progetto e delle attività che vi si svolge all'interno.

La struttura sfrutta pienamente la capacità autoportante del container (struttura in acciaio) e poggia lungo la strada su supporti puntuali metallici che a loro volta scaricano il peso su una trave rovescia mentre verso l'Ospedale gode di un appoggio su muretti in c.a. . La cella prefabbricata ha un peso contenuto in quanto l'involucro è realizzato interamente a secco, ricorrendo a materiali leggeri come i pannelli in legno OSB, isolanti in polistirene e rivestimento in policarbonato.

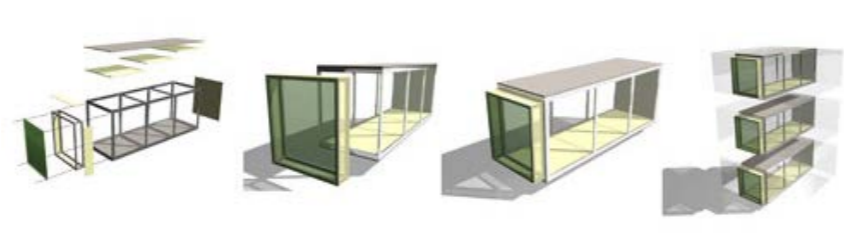


Fig.106 Schemi tridimensionali del sistema tecnologico di Campus Point, Lecco.

La qualità del progetto è racchiusa anche nelle scelte energetiche. Le superfici finestrate poste a nord-est garantiscono elevati livelli di illuminazione naturale agli ambienti indoor. Durante la notte tubi fluorescenti a incasso, posizionati all'interno delle superfici vetrate, sottolineano i profili e le forme della facciata garantendo un notevole effetto scenografico e conferendo all'edificio un aspetto altamente tecnologico, anche nelle ore notturne.

Gli ambienti interni, oltre ad essere altamente flessibili, sono attualmente ripartiti da tamponamenti prefabbricati studiati al fine di garantire sia un elevato comfort acustico grazie al potere fonoassorbente dei materassini in lana di vetro, sia un adeguato livello di diffusione dell'illuminazione (mediante tagli trasparenti realizzati in prossimità dei soffitti).

I containers di dimensioni 2,90 x 8,11 x 2,70 (h) m, sono dei volumi tridimensionali industrializzati, prodotti a "km o" dall'azienda Edilsider, con sede produttiva a Calolziocorte. La strategia di posare direttamente in sito i moduli, ha comportato notevoli vantaggi economici e gestionali, tempistiche ridotte e minori disagi per gli utenti delle abitazioni limitrofe al cantiere, garantendo al contempo prestazioni tecnologiche elevate e spazi di qualità altamente flessibili. Le attività di realizzazione del progetto sono state estremamente ridotte e contenute nell'arco di pochi mesi.



Fig.107 Fotografia della facciata di Campus Point, Lecco.

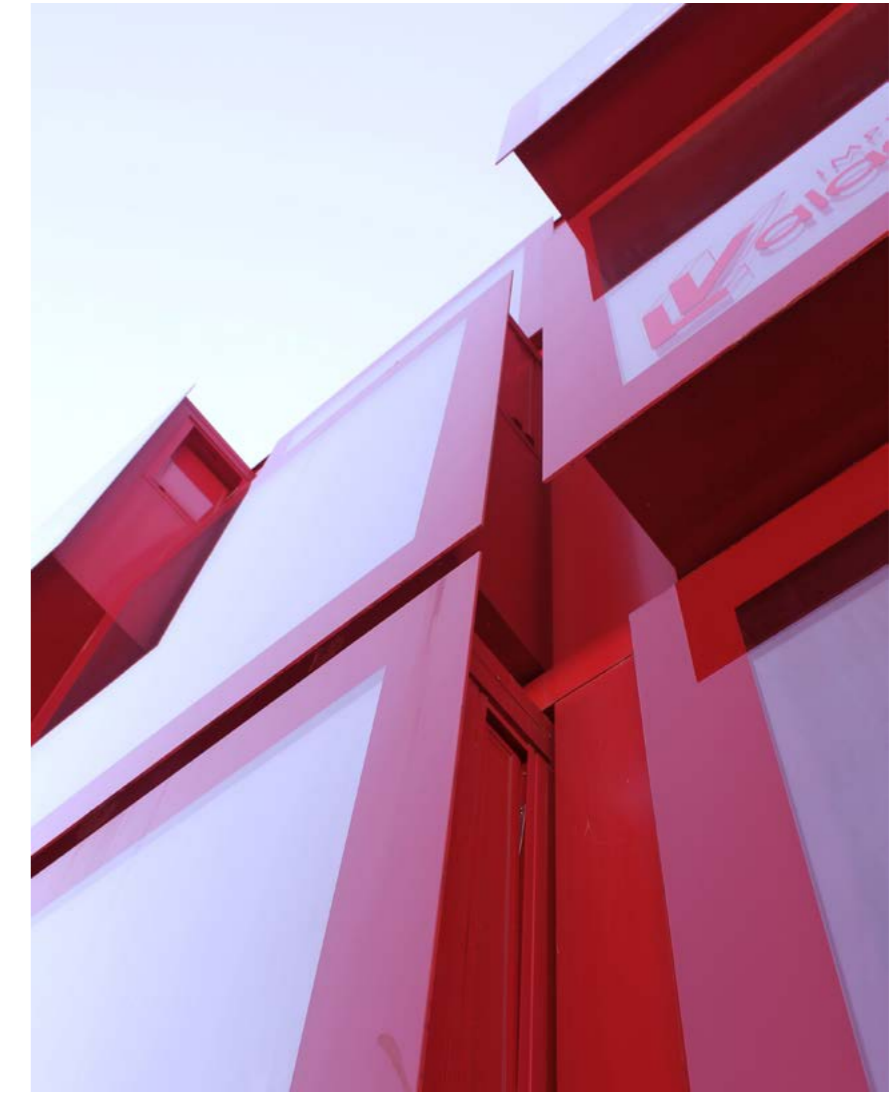


Fig.108 Fotografia di dettaglio dei moduli sporgenti di Campus Point, Lecco.

3.1.2.2 LA SCELTA DEL MODULO PREFABBRICATO

Sulla base dell'esperienza di Campus Point, e grazie alla gentile disponibilità del Prof. Arturo Montanelli e dell'Ing. Amalia Vivian, abbiamo deciso di intercalare ancor di più il progetto nella realtà e assumere come riferimento l'azienda Edilsider Modular Housing S.p.a e con essa i suoi moduli prefabbricati. Inizialmente, l'azienda opera nel campo della carpenteria metallica per l'edilizia e le infrastrutture civili, emergendo nella produzione di ponteggi, travi estensibili, e brevettando il sistema innovativo dei casseri a ripresa. Oggi, il Gruppo continua lo studio accurato, intrapreso ormai da tempo, per la realizzazione di edifici prefabbricati metallici modulari in grado di offrire un elevato livello di comfort abitativo. Una base concreta dalla quale poter partire per sviluppare gli elementi prefabbricati del progetto della presente tesi. L'azienda stessa offre soluzioni personalizzate, sia in termini dimensionali che tecnologici, a dimostrazione che la prefabbricazione non costituisce un vincolo assoluto. Si è deciso, da una lato in relazione alle dimensioni dell'area di progetto e della superficie edificabile, dall'altro in vista delle prestazioni energetiche che dovrà garantire l'edificio, di assumere come riferimento iniziale il container "grand desert".

Il monoblocco "GRAND DESERT" è stato studiato e progettato per usi in situazioni gravose, dove sono richieste affidabilità, robustezza e resistenza agli urti e dove i frequenti spostamenti sollecitano al massimo le strutture e gli accessori all'interno. La struttura dei cabinati "GRAND DESERT" è di tipo monolitico, realizzata interamente in acciaio con tutte le parti saldate tra di loro. Dovendo realizzare un edificio permanente a destinazione residenziale, le cui strutture dovranno rispettare i requisiti richiesti dalla normativa vigente, questo prodotto è il più idoneo fra quelli proposti.

Per i blocchi ad uso abitativo, inoltre, le pareti perimetrali sono realizzate con pannelli in lamiera grecata zincata a caldo, ed è già presente un primo strato di coibentazione interna, realizzata con materassini in lana minerale. Il coronamento perimetrale del tetto è realizzato in profilati tubolari a sezione quadrata su cui vengono saldate tra di loro le lamiere grecate in acciaio zincato che formano il tetto, anch'esso coibentato. A pavimento, invece della lamiera, si trova una sottostruttura a tubolari. Anche in termini di materiali, "grand desert" è costituito da un involucro semplice, efficiente e implementabile. Le dimensioni ordinarie (variabili) di questo modello, sono riportate in Fig. 109.

Si vedrà nel susseguirsi dell'elaborato come è perché il modello è stato integrato e migliorato, al fine di renderlo adatto al suo inserimento in questo progetto.

Lunghezza mm	Larghezza mm	mm Altezza esterna	Altezza interna mm
6055	2438/2900	2590/2890/3090	2190/2500/2700



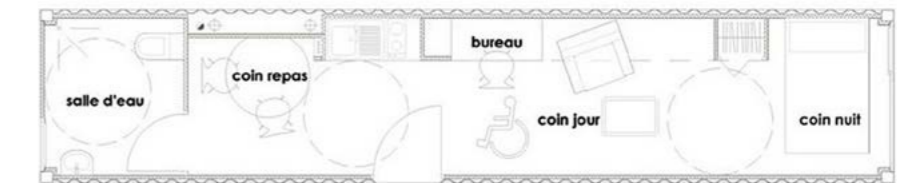
Fig.109 Caratteristiche dimensionali e operazioni di pre-fabbricazione del container "Grand Desert".

3.1.3 ABITARE IL CONTAINER

L'accezione negativa che spesso viene attribuita alla prefabbricazione o alla modularità, viene trasferita facilmente anche quando si parla di abitare in un container o all'interno di un modulo prefabbricato. Si ha la tendenza ad associare il concetto di modulo ad uno spazio angusto, privo di equilibrio architettonico o di comfort. Con riferimento agli edifici residenziali, in termini di superfici, il ricorso ai moduli potrebbe addirittura essere vantaggioso rispetto ad alloggi tradizionali di piccolo taglio che, troppo spesso, vengono ricavati dalla divisione di residenze esistenti, senza porre troppa attenzione al come, andrebbero eseguite certe conversioni. Così si arreda e si organizza un layout in spazi che necessiterebbero di modifiche o variazioni per poter essere degni di divenire un alloggio. In questo senso, la forma allungata del container, si presta molto bene ad una semplice e logica organizzazione spaziale. Diviene quasi naturale suddividere per nuclei funzionali la superficie e lasciar respirare l'ambiente ricorrendo al distributivo che connette proprio questi ambiti stessi. Così facendo, la zona notte rimane divisa dalla zona giorno e la parte centrale si lascia, ad esempio, al blocco dei servizi. Anche l'aggregazione di più moduli facilita la composizione degli ambienti. Questa logica è fondamentalmente quella che si adotta quando si vuole progettare un edificio tradizionale. L'unica differenza risiede nella maggior attenzione e nel maggior valore che si deve porre agli spazi e, soprattutto, agli arredi. E' fondamentale infatti sfruttare "su più livelli" la superficie disponibile in maniera tale da preservare il piano di calpestio e lasciare spazi agibili entro i quali potersi muovere senza impedimenti. Anche in termini di comfort un ambiente modulare non ha nulla da temere. Spesso questi spazi godono di ampie vetrate che illuminano tutto il locale. Con l'adozione di corretti sistemi di oscuramento si evita l'abbagliamento e si gestisce la captazione solare, anche a seconda delle stagioni. Stesso ragionamento si può proporre in termini di prestazioni energetiche e impiantistiche.

Anzi, la costruzione in "fabbrica" conferisce al volume una maggiore qualità costruttiva e quindi una garanzia maggiore. Se correttamente progettati, moduli prefabbricati o container implementati possono persino superare in termini di qualità altri alloggi oggi giorno esistenti. Si riportano nel seguito alcuni esempi, che mostrano come modularità e container possano offrire ambienti eccellenti, in cui vivere sarebbe un piacere.

Planimetria alloggio in container, casa per studenti "Evergreen".
Sup. 28,8 m²



Esempi di alloggio in monocalci. Sup. < 25 m².

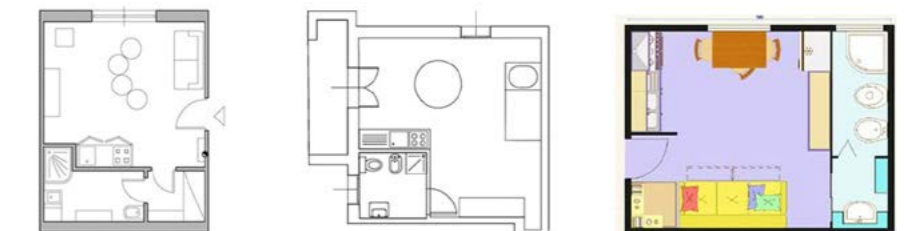


Fig.110 Confronto fra schemi planimetrici di alloggi in container e in edifici tradizionali.

12 CONTAINER HOUSE_BROOKLIN

Adam Kalkin_

Adam Kalkin riesce a partire da materiali e oggetti grezzi, industriali e freddi, per giungere a realizzazioni in cui questi oggetti avulsi da un contesto abitativo vengono addomesticati e resi amichevoli, familiari, piacevoli. 12 Container House è un'abitazione a due piani realizzata sovrapponendo e affiancando tra di loro dodici container marittimi lunghi circa 6 metri, all'interno di una struttura più ampia. Il progettista ha ricreato una vera e propria abitazione familiare: al piano terra si trovano la cucina, una biblioteca, un bagno, uno studio, una sala per i giochi e una stanza degli ospiti. Lo snodo principale di questi ambienti è costituito da una grande hall aperta, con pavimento radiante in calcestruzzo. Al piano di sopra vi sono tre camere da letto, un altro studio e due bagni. Il collegamento col piano terra avviene tramite due scale in acciaio e legno, simmetriche rispetto all'asse longitudinale della casa. Il tutto, con un costo di costruzione di 1350 \$/m², decisamente inferiore al prezzo ordinario di mercato. Questo progetto dimostra che è possibile realizzare, grazie ai container, una residenza senza rinunciare a nulla.



Fig.111 Hall interna della 12 Container House.

GREEN FRAME HOUSE, VERONA_

AstoriDePontiAssociati_ 2010

Il progetto si basa sul recupero di sei container marini dismessi e sulla loro trasformazione in abitazioni moderne e tecnologiche, dotate di comfort ed energeticamente efficienti. L'abitazione è di 140 m² disposta su due livelli, con patio esterno, patio interno e terrazzi. "Fortemente proiettata verso l'esterno – spiegano gli autori del progetto – provvista di numerose e ampie vetrate che permettono alla luce di attraversare la casa in ogni direzione, molto ben rifinita ed arredata, la nostra casa design rappresenta davvero un "abitare sostenibile" anzi, un gran bel "abitare sostenibile", dotato di bellezza, fascino e comfort. I pacchetti tecnologici sono il risultato di un'implementazione dei container di base. L'innovazione di questo progetto è dichiarata anche dall'utilizzo di pannelli che incorporano un materiale a cambio di fase in grado di assorbire il calore quando la temperatura sale negli ambienti interni per poi rilasciarlo ogni volta che la temperatura scende sotto una certa soglia, consentendo di ridurre efficacemente i costi energetici degli edifici a bassa inerzia termica.



Fig.112 Esposizione del Green Frame House, Verona.

CARGOTECTURE, CALIFORNIA, OREGON_

HyBrid Architecture + Assembly_2004

L'esempio precedente ha mostrato la vivibilità in ambienti modulari. Questo progetto richiama più strettamente la vivibilità dei container. In questo caso la priorità è fare architettura con il riciclo, il riuso e il recupero. Il nome Cargotecture indica un tipo di edificio che è parzialmente o interamente costruito con container ISO riciclati. Cargotecture è il primo di una serie di modelli. La sua superficie, di circa 30 m², è ottenuta dall'affiancamento di due container standard. Il risultato è un "ibrido" di lusso e semplicità, ricercatezza e schiettezza, tra l'aspetto umile dell'esterno e l'atmosfera raffinata che gli interni in legno attribuiscono a questa unità minima abitativa dal sapore universale. La copertura protetta da vegetazione infatti, oltre a migliorare le prestazioni del fabbricato in termini di isolamento, lo rende adattabile a qualsiasi contesto paesaggistico.

I costi ridotti sono un altro importante requisito di questa "scatola abitativa". Il container è adatto a single o coppie, nonostante la ridotta superficie utile è in grado di ospitare una comoda nicchia per il letto, una per i servizi igienici, una per la cucina, mentre il resto dello spazio, circa il 75%, è un open space da destinare a soggiorno, pranzo, studio, a seconda delle esigenze degli abitanti. Un accorgimento intelligente che mostra una inusitata attenzione al ciclo di vita del materiale, è consistito nel riutilizzare lo scarto derivante dal taglio delle aperture sull'involucro originario, per ottenerne sistemi di oscuramento del tutto simili alle tipiche persiane delle nostre latitudini, ma ben più originali ed economici. Il prototipo finito soddisfa molti degli obiettivi che i progettisti si erano posti in partenza: accessibilità, rapidità nell'installazione, creazione di un ampio spazio open, e basso impatto ambientale sul sito esistente.

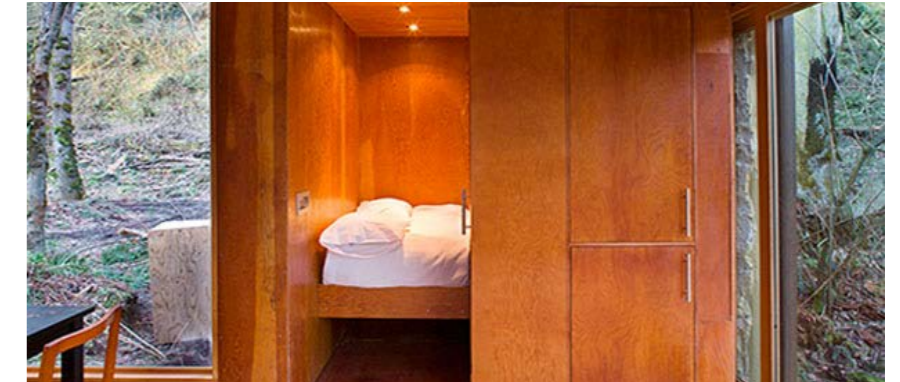


Fig.113 Nucleo zona notte all'interno di "Cargotecture".



Fig.114 Fotografia di Cargotecture inserita in un bosco.

3.2 LA NUOVA DESTINAZIONE D'USO

Il ricorso alla nuova tecnologia a moduli prefabbricati ha sollevato il quesito di quale destinazione d'uso avrebbe maggiormente ottimizzato questa scelta. Nell'ottica di voler sperimentare una soluzione innovativa, si è ritenuto opportuno mettere in discussione il progetto iniziale per svilupparlo coerentemente con gli altri cambiamenti decisi. Pur rimanendo in ambito residenziale, approfondendo maggiormente le analisi del contesto, si è deciso di convertire gli alloggi in case per studenti. Come si è visto negli esempi sopra riportati, mediante elementi predefiniti è possibile soddisfare le più diverse esigenze, e quindi dar spazio a molteplici destinazioni d'uso. Nel presente caso è però necessario confrontarsi con attenzione al contesto e alle sue esigenze abitative. Creare alloggi di alto livello ricorrendo ai moduli prefabbricati, avrebbe fortemente limitato la sfida di ottimizzare la costruzione inserendola con coerenza nel tessuto urbano milanese. La necessità di alloggi per studenti è, inoltre, una reale condizione che il quartiere di Brera reclama. La tecnologia trova inoltre da un punto di vista economico maggiore riscontro in uno studentato, in quanto l'utenza necessita in questo caso di residenze a costo contenuto.

Pertanto, tutti i piani fuori terra di MODULA sono adibiti a residenze per studenti e servizi ad esse annessi. Logicamente, anche le funzioni pubbliche sono state modificate, al fine di garantire una continuità delle attività tale da rendere funzionante l'edificio. Per questo attività a carattere prevalentemente commerciale sono state convertite in luoghi di scambio o di promozione di giovani e studenti. Come si vedrà nel seguito, oltre ai servizi di cui deve godere una casa per studenti, gli spazi pubblici sono stati destinati ad ambienti che favorissero l'integrazione fra i giovani residenti e i cittadini. La buona riuscita di un progetto non dipende solamente dalla sua qualità architettonica, tecnologica o energetica. Questi sono requisiti imprescindibili che devono essere soddisfatti e garantiti. La qualità della vita che si può svolgere nel posto in cui si vive e le possibilità che l'ambiente stesso intrinsecamente offre sono però altrettanto importanti. Così come lo è l'inserimento nel contesto e, nella migliore delle ipotesi, un apporto migliorativo allo stesso. È possibile comprendere ora, ancora meglio, il perché è stato voluto il cambiamento della tecnologia costruttiva. Si rimanda ai capitoli seguenti la scoperta di tutti gli aspetti approfonditi e i risultati a cui si è giunti.



Passaggio da un sistema di prefabbricazione parziale, tipo "Cocoon System" (FLORA), alla progettazione per moduli tridimensionali pre-confezionati (MODULA).



Fig.115 Fotografie del sistema costruttivo tipo "Cocoon" e della posa di una cellula prefabbricata, progetto MOHO.

3.3 CONCEPT

"Design: progettazione di un oggetto che si propone di sintetizzare funzionalità ed estetica". [Enciclopedia Treccani]

Si potrebbe non aggiungere altro alla definizione sopra citata, la quale rappresenta con estrema sintesi e purezza il concept dal quale si è sviluppato l'intero progetto. Il riferimento al design non è casuale, ma è stato scelto dopo aver conosciuto e analizzato il contesto in cui s'inserisce l'edificio. Il quartiere di Brera e Via Palermo sono pervasi da un'atmosfera innovativa, sperimentale e dinamica. E' tangibile, negli show room, negli eventi e nei laboratori nascosti nelle corti, la passione e la tradizione dei designer.

In particolare il mobile e, più in generale, l'arredo.

Il design milanese può essere spesso definito industrial design (basti pensare all'architetto e designer milanese Achille Castiglioni), il quale tende ad una sempre maggiore efficacia del rapporto forma-funzione, non privilegiando uno solo dei due aspetti ma valutandoli e sviluppandoli parallelamente nell'iter progettuale, in modo che risultino totalmente integrati nel prodotto finale.

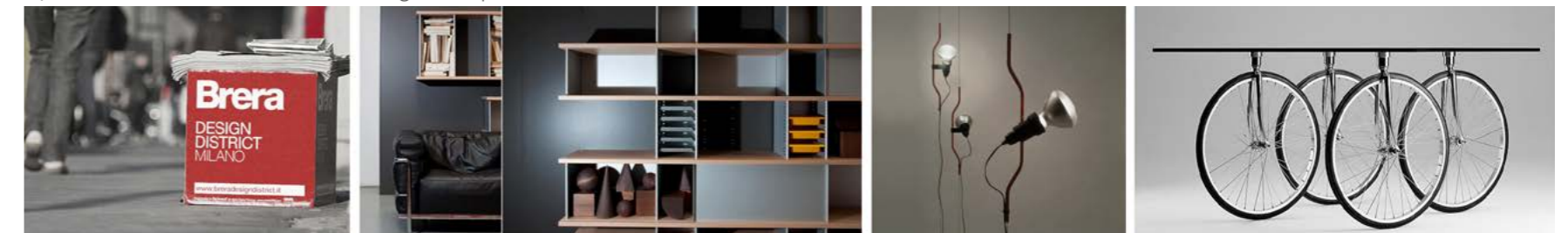


Fig.116 Riferimenti concettuali: Distretto del Design di Brera, Nuage di Charlotte Perriand, Parentesi di A. Castiglioni e rivisitazione del Tavolo con ruote di G. Aulenti.

Un rapporto ideale tra forma e funzione, però, si ha quando esiste un perfetto equilibrio tra i due aspetti, ossia quando le scelte estetiche compiute sembrano conseguenti alla funzione e viceversa, senza prevaricazioni o forzature.

Il concept del design, oltre a rimandare alla matericità, ai colori sempre presenti e alle forme eclatanti, definisce proprio il comportamento da tenere durante lo sviluppo del progetto, e gli obiettivi da raggiunge. Per questo MODULA trova fondamento in esso. In particolar modo la modularità delle librerie, la purezza delle loro forme, gli accostamenti cromatici e lo loro dichiarata funzionalità, rendono questo oggetto d'arredo lo specifico punto di riferimento.

La libreria come oggetto di design rimanda alla classica dialettica tra contenuto e contenitore, in cui spesso entra in gioco l'opera architettonica. È il contenuto che eleva il contenitore ad oggetto di architettura, trasformandolo da una semplice scatola per oggetti ad un contenitore di persone, di cultura, di relazioni, di momenti, di emozioni.

Tutti questi spunti sono stati trasferiti a Modula. Dal colore delle facciate ai suoi volumi compositivi, dalla funzionalità del progetto al senso etico ricercato per definire un corretto rapporto con il contesto, dalla progettazione ergonomica degli interni al rapporto degli spazi con le persone che li abitano.

04

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

4.1 IL MASTERPLAN

4.2 DESTINAZIONI D'USO E LAYOUT

4.2.1 Destinazioni d'uso pubbliche

4.2.2 Destinazioni d'uso private

4.3 FORMA E FUNZIONE: OTTIMIZZAZIONE
MODULARE

4.3.1 I moduli base

4.3.2 Tipo 1: variazioni

4.3.3 Tipo 2: variazioni

4.3.4 La disposizione nell'edificio

4.4 I FRONTI

4.4.1 Prospetto Nord

4.4.2 Prospetto Est

4.4.3 Prospetto Ovest

4.4.4 Prospetto Sud

Nel presente capitolo, si trattano le scelte architettoniche attuate, introducendo scale di analisi e rappresentazione differenti.

Inizialmente si descrive l'inserimento dell'edificio nel contesto, mostrando come esso si rapporta con le preesistenze.

Successivamente si riporta la conformazione ed il layout generale dell'edificio per poi giungere ad un livello di dettaglio maggiore nel quale si esplicano le destinazioni d'uso introdotte e si descrivono gli ambienti progettati. In tale sezione, si fa particolare riferimento alle scelte fatte per quanto riguarda gli spazi interni alle residenze, soprattutto in termini di arredabilità, funzionalità ed accessibilità.

Data la caratterizzazione tecnologica del progetto, si chiarisce lo studio della modularità delle unità abitative standard, spiegando come si debba integrare l'aspetto tecnologico con quelli di vivibilità e fruibilità dell'edificio.

Infine si descrivono i prospetti del fabbricato, motivando con considerazioni energetiche e funzionali le scelte fatte, senza dimenticare gli aspetti di integrazione con il contesto e con la cortina stradale circostante.

4.1 IL MASTERPLAN

L'edificio si colloca, come già detto, nel quartiere di Brera, area densamente costruita, caratterizzata dalle storiche vie di modesta dimensione e da fitte cortine stradali. Guardando dall'alto questa zona, si può notare come i vuoti urbani siano limitati e come, le zone non edificate, siano in realtà le corti degli edifici esistenti o piccoli giardini circondati da fabbricati.

L'area di progetto, inoltre, si trova all'incrocio tra due strade, via Palermo, di dimensioni maggiori ed ad un unico senso di marcia, ed una via ad essa ortogonale che risulta a fondo cieco, delimitata dall'ingresso di una scuola materna. Questo vincolo, rende tale strada una pura zona di passaggio verso l'asilo o di sosta per le automobili, dequalificandone l'aspetto e togliendone l'appetibilità per l'installazione di qualsiasi attività.

Di seguito si spiegherà come, partendo da tali spunti e vincoli, il progetto si rapporta con il contesto, e verrà avanzata anche un'ipotesi di possibile riqualificazione delle connessioni, al fine di valorizzare maggiormente l'area.

Come già detto, l'edificio qui presentato, si pone in continuità con tale contesto; innanzitutto, esso completa la cortina stradale interrotta dal vuoto lasciato dall'area di progetto, in secondo luogo, esso si integra mantenendo la tipica configurazione a corte, caratterizzante l'area e la stessa città di Milano [Rif. Figura 117].

La forma dell'edificio, si definisce automaticamente dalle condizioni al contorno appena descritte: la necessità di seguire il profilo della strada, impone l'adiacenza al limite del lotto, l'introduzione di uno spazio interno non edificato, determina la peculiare forma ad "L", conseguenza anche del fatto che l'area in esame risulta un lotto d'angolo.

Nonostante venga ripreso il modello storico dell'edificio a corte, la volontà del progetto è di aprire la corte al quartiere rendendola uno spazio vivo e fruibile, un punto di incontro tra l'edificio e le aree limitrofe. La scelta di creare questo passaggio deriva dal fatto che spesso all'interno della città, questi vuoti, diventano spazi di servizio, risulta o deposito dei fabbricati a cui si riferiscono.

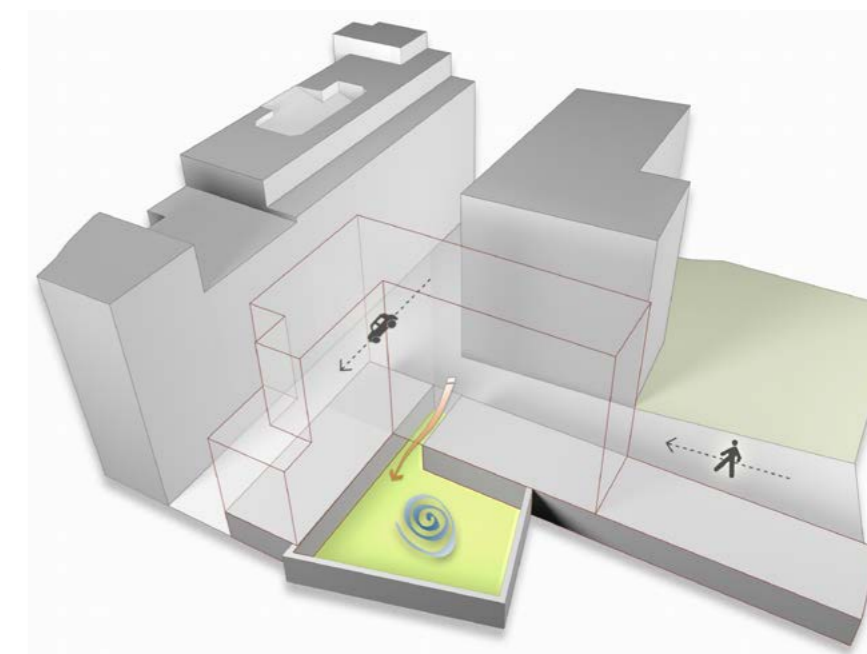


Fig.117 La corte interna aperta al quartiere.

L'idea di creare una connessione tra l'edificio ed il quartiere, può estendersi anche ad un'area più estesa. La dimensione del lotto di progetto, che si estende oltre il cancello d'ingresso della scuola materna, impone di riqualificare la strada che porta ad essa; tale via viene quindi resa unicamente pedonabile, delimitata da una pavimentazione differente da quella della via Palermo. In questo modo essa diventa uno spazio distinto, fruibile e non unicamente di passaggio, aumentando anche la sicurezza, data la probabile presenza di bambini nell'area.

Si può notare, inoltre, che alla spalle della scuola materna si trova il complesso della Chiesa di San Smpliciano, tra cui l'annesso oratorio, dotato di spazi gioco ed un piccolo campo di calcio. frontalmente ad esso, è presente un istituto comprensivo di scuola elementare e media, anch'esso dotato di aree verdi esterne.

Si ipotizza quindi, che sia possibile prolungare la via pedonale sopra descritta anche attraverso questi due edifici proseguendo fino a raggiungere la strada carribile via Delio Tessa.

Si creerebbe così uno spazio attrezzato, sia di passaggio ma anche di connessione tra attività similari tra loro, dove potrebbero collocarsi luoghi di sosta e socializzazione, creando un nuovo elemento vivo all'interno del quartiere.

Frontalmente all'edificio, è presente inoltre uno spazio verde, attualmente incolto. Attrezzando tale spazio con elementi rivolti sia alla collettività che ai più giovani, data la presenza degli edifici sopra nominati, si potrebbe creare un punto di interesse ulteriore rivolto verso tale percorso.

Poichè il fabbricato tende a diminuire il suo ingombro procedendo in altezza, si sfrutta questa conformazione per creare un terrazzo affacciato su via Palermo e un giardino pensile, che si pone in comunicazione visiva con lo spazio verde frontale all'edificio appena nominato, creando anche in questo caso continuità.

Si può quindi concludere che il contesto, così vincolante, si pone come un'opportunità per il progetto di rapportarsi con l'intorno e coinvolgerlo nel cambiamento.

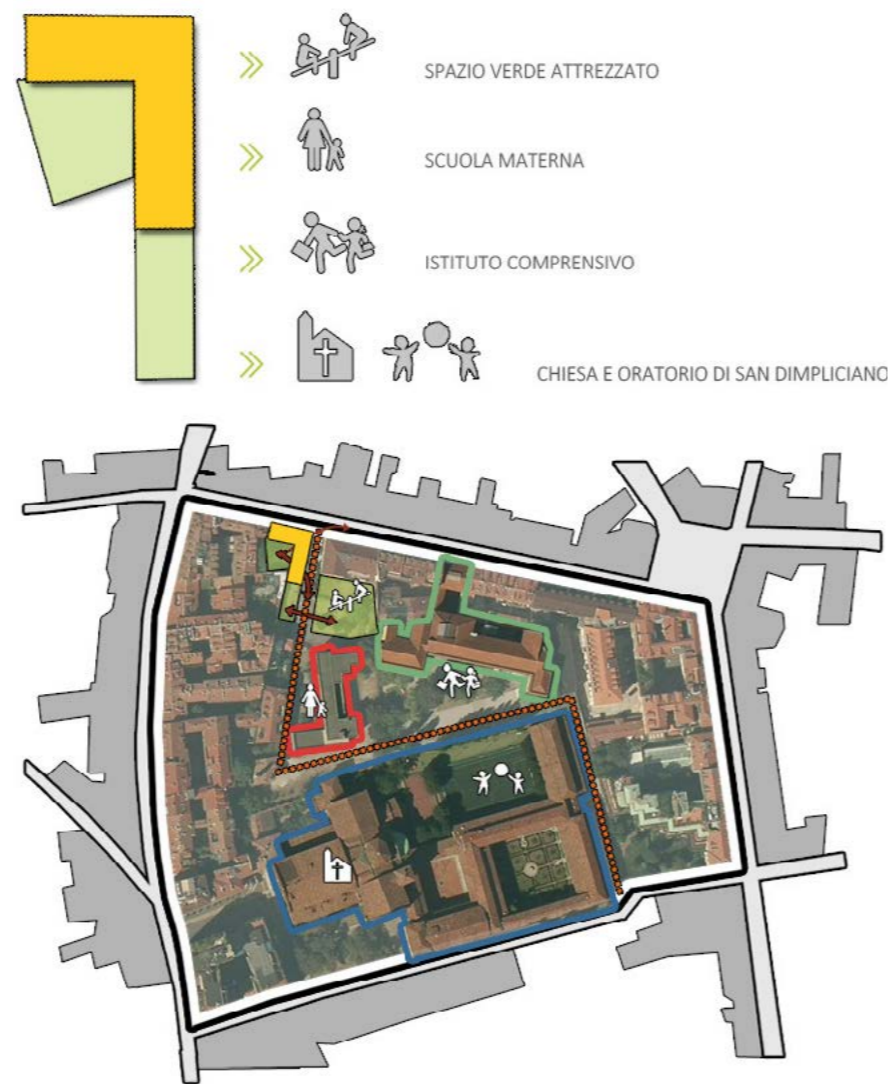


Fig.118 Connessioni tra il lotto e gli elementi dell'area limitrofa.



Fig.119 Planivolumetrico.

4.2 DESTINAZIONI D'USO E LAYOUT

Per comprendere ciò che verrà di seguito spiegato, è necessario innanzitutto comprendere la composizione generale del progetto in esame. Innanzitutto, come già precedentemente detto, l'edificio è adibito principalmente a residenza per studenti; esso è composto da cinque livelli fuori terra e due interrati.

In generale, il fabbricato è suddiviso in due blocchi funzionalmente distinti: i quattro piani superiori, sono quelli considerabili privati a disposizione degli studenti, poichè in questi livelli si collocano le residenze vere e proprie ed i servizi immediatamente ad essi connessi (come lavanderia e sale comuni); il piano terra ed i due piani interrati sono, invece, adibiti ad attività comuni rivolte sia agli abitanti delle residenze o in alcuni casi anche rivolte a visitatori esterni.

Si è scelto di collocare al piano terra le attività che necessitano di luce naturale e di maggiore visibilità esterna, in particolare verso l'affaccio Nord, ovvero verso Via Palermo, la via di maggior passaggio.

Per quanto riguarda le connessioni principali tra i vari livelli [Rif. Figura 121], è presente un unico vano scale che attraversa l'edificio fino ai piani interrati, permettendo il massimo sfruttamento dello spazio per funzioni differenti da quelle di distribuzione; la problematica dello sfruttamento spaziale è stata infatti considerata data la collocazione del progetto in una città con alti prezzi della superficie abitabile quale è Milano.

L'edificio si mostra quindi come un'unità dove tutte le parti interne ad esso trovano la loro collocazione funzionale e spaziale, senza interferire con le altre, ma allo stesso tempo risultano connesse ed equilibrate, permettendo anche un'integrazione funzionale all'interno del quartiere, che diventa in parte diretto fruitore dell'edificio stesso.

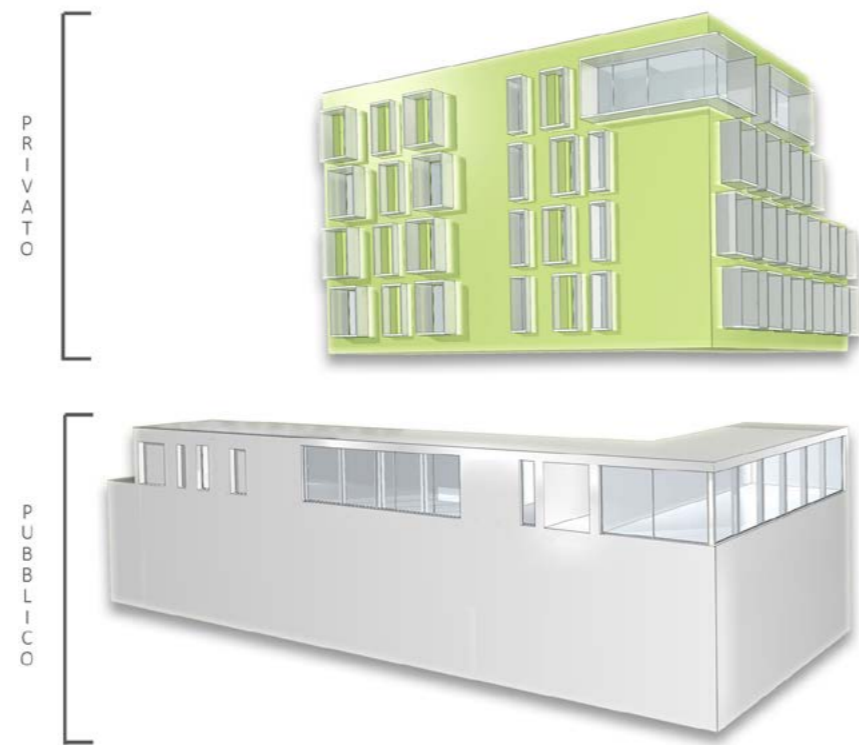


Fig.120 Distinzione pubblico-privato all'interno dell'edificio.

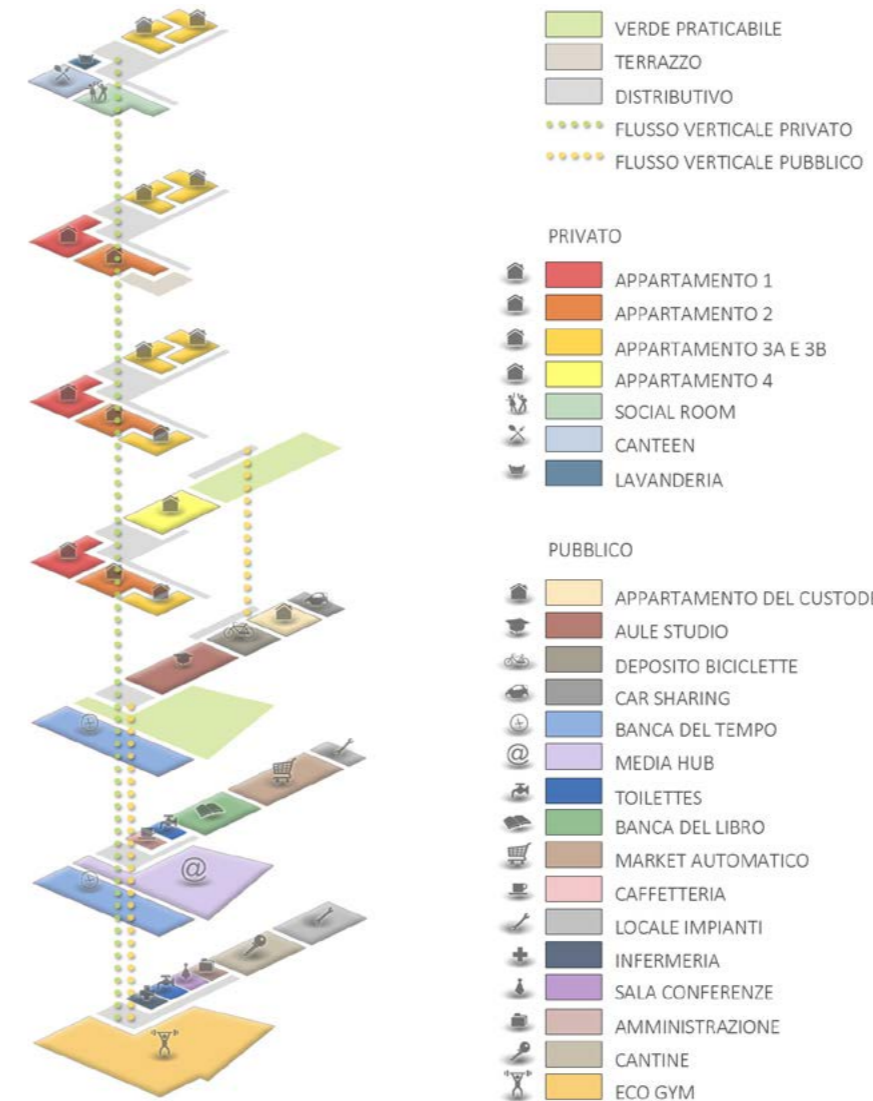


Fig.121 Layout generale e destinazioni d'uso dell'edificio.

4.2.1 DESTINAZIONI D'USO PUBBLICHE

Come precedentemente detto, il piano terra ed i livelli interrati sono adibiti alle destinazioni d'uso comuni agli abitanti delle residenze, o pubbliche, rivolte anche ai visitatori esterni. Tali funzioni sono in alcuni casi connesse tra di loro per tipo di utilizzazione e pubblico a cui sono rivolte.

Le destinazioni d'uso inserite nel progetto derivano da un'analisi del contesto limitrofo e dalle tipologie di utilizzatori ipotizzate. In generale, si è scelto anche di legare le funzioni ospitate da tali spazi a quella primaria dell'edificio, ovvero di residenza per studenti.

Per questo, sono state introdotte attività di tipo didattico-costruttivo rivolte sia agli studenti che ai visitatori, dando anche un'inclinazione produttiva e di scambio tra gli abitanti dell'edificio e del contesto.

Alcune aree sono state invece necessariamente adibite a spazi di servizio per il corretto funzionamento dell'edificio e per una buona vivibilità dello stesso.

4.2.1.1 LIVELLO 0

[Rif. Figura 121]

Il piano terra è quello immediatamente visibile e raggiungibile dal contesto; ad esso, è in parte affidato il compito di connettere l'edificio con esso e di mostrare ciò che vi si svolge all'interno.

Tra quelli non privati, questo livello, risulta quello che gode di luce naturale.

In base a tali considerazioni sono state scelte le attività che esso ospita.

In generale questo piano si mostra composto da due blocchi, uno con orientazione Nord-Sud ed uno con orientazione Est-Ovest. Questa suddivisione deriva dalla volontà, già precedentemente esposta, di aprire la corte interna verso la

strada e le aree limitrofe. All'interno del progetto in esame, si è scelto di dare importanza alle potenzialità di tale spazio, come punto di incontro, comunità e socializzazione, sia per la residenza stessa che per il contesto, aprendolo verso di esso e rendendolo vivibile mediante sedute e arredo esterno. L'utilizzo di verde e la presenza di un albero permettono la fruizione della stessa nei mesi estivi, proteggendolo dall'eccessivo accumulo di calore che porterebbe a rendere lo spazio non accogliente.

Inoltre, la presenza del passaggio per raggiungere la corte, permette di ottenere uno spazio di ingresso all'edificio coperto e protetto.

Essendo composto da due blocchi distinti, sono presenti due punti di ingresso. Uno indipendente per l'attività che si svolge nella parte Nord-Sud, e quello principale dell'edificio, posto frontalmente ad esso, che porta direttamente al vano scala di connessione tra i vari piani. Da quest'atrio di distribuzione è possibile raggiungere le altre attività sia del piano che dei livelli inferiori.

Di seguito verranno spiegate singolarmente le destinazioni d'uso presenti all'interno del piano.



Fig.122 La Banca del Tempo come luogo di scambio di conoscenze e di attitudini pratiche.

BANCA DEL TEMPO

Questa destinazione d'uso è la principale tra quelle inserite nel progetto e rappresenta la volontà di connettere l'edificio ed il contesto. Essa si manifesta come una rete di interscambio di capacità, conoscenze e attitudini pratiche fra studenti e tra studenti ed esterni. Lo scambio può consistere in piccoli compiti e lavori in cambio di un guadagno o in cambio di un altro "favore" a livello pratico. Essendo, inoltre, Milano una città di lavoratori in sosta temporanea, è possibile pensare di connettere questa destinazione d'uso con la possibilità di riservare un massimo di due appartamenti ad essi, solo nel caso, però che essi portino alcuni lavori per gli studenti.

La banca del tempo si esprime al piano terra tramite lo spazio espositivo collocato nel blocco Nord-Sud, dove gli studenti possono esporre il risultato di tali lavori o prodotti da loro confezionati che mostrino le loro capacità e le possibilità di tale scambio. Questo spazio non è però, una semplice esposizione, ma mette in mostra gli studenti mentre svolgono alcune delle lavorazioni che essi introducono nel mercato. Tale funzione, richiama le botteghe artigiane che in passato erano diffuse nel quartiere, collegandosi anche alla presenza nella zona dell'accademia di Brera, e alle attitudini pratiche degli studenti che la frequentano. La Banca del Tempo è, infatti, uno spazio a disposizione sia degli studenti residenti che di quelli esterni che vogliono mettere a disposizione le loro capacità.

Lo spazio dedicato a questa destinazione d'uso al piano terra è configurato come una vetrina in cui, in primo piano è possibile notare la scala che porta al livello inferiore dove è situato un laboratorio attrezzato, mettendo in evidenza il rapporto tra la parte di lavoro pratico e la parte maggiormente in vista.

Lo spazio si articola secondo diversi settori di scambio. Passando per una piccola zona di reception e accoglienza, si giunge ad alcune postazioni per le attività digitali, legate ad informatica, manutenzione pc e grafica.

Seguendo il percorso, si raggiunge la parte di arte e architettura, per la realizzazione di modellini di studio, progetti e composizioni.

Successivamente è presente uno spazio legato alla moda per la commissione di lavori di piccola sartoria o di interi abiti o accessori.

L'ultimo spazio espositivo vero e proprio è invece dedicato all'eco design, immaginando un progetto di quartiere, dove gli oggetti vecchi o di scarto vengono riparati o reinventati con possibile esposizione o vendita.

Superata la parte maggiormente legata alle attività manuali, si raggiunge l'ultima zona, mantenuta volutamente isolata, al fine di avere uno spazio adatto a ripetizioni sia di conoscenze accademiche che di livello scolastico inferiore.



Fig.123 Attività varie presenti nella Banca del Tempo.



Fig.124 Attività varie presenti nella Banca del Tempo.



AULA STUDIO

Essa si colloca nel blocco Est-Ovest, data la minore necessità di visibilità dall'esterno, ma allo stesso tempo, riceve beneficio per la richiesta di luce naturale per l'attività che vi si svolge.

L'aula studio è divisa in due parti: la prima, a forma di "L", in cui sono presenti sia postazioni singole che tavoli da lavoro di maggiori dimensioni, è adibita alle attività di studio di gruppo, la seconda, di minore dimensioni e separata da una parete di vetro per ampliare maggiormente lo spazio, è riservata allo studio singolo silenzioso.

Questa destinazione d'uso, presenta, oltre alle grandi vetrate per avere un ambiente più confortevole, anche un'apertura verso l'esterno nel lato Est dell'edificio. Adiacente a questa porta è presente una scala che porta ad un terrazzo verde, dove una tettoia ricoperta di vegetazione e lo stesso riversimento a verde, la rendono un'area di svago e relax durante le pause dallo studio.



Fig.125 L'esposizione della Banca del Tempo.

Fig.126 La sala studio del Tietgen Kollegiet a Copenhagen.

LOCALI DI SERVIZIO

I locali di servizio sono stati collocati nella parte terminale del blocco Est-Ovest, per poter essere maggiormente isolati dal resto dell'attività.

L'edificio è fornito di un deposito biciclette, data la presenza di studenti per un periodo temporaneo, i quali usualmente non sono dotati di automobile. La presenza di un deposito sicuro è, inoltre, un incentivo per l'utilizzo di mezzi ecosostenibili per gli spostamenti. Seguendo questi due concetti, è stato predisposto nell'edificio un box auto per attività di car sharing nella posizione più estrema del blocco.

Adiacente al deposito biciclette è presente la casa del custode, isolata dalle altre attività per motivi di privacy e con accesso indipendente.

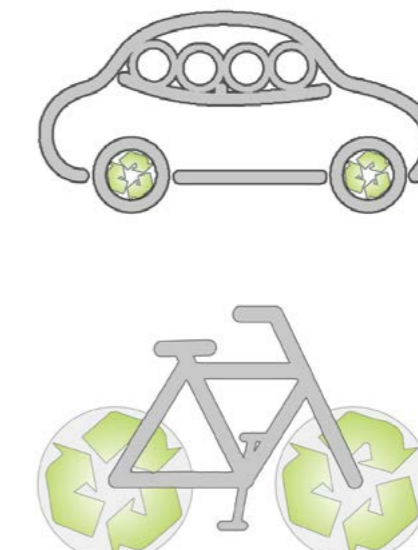


Fig.127 Bicicletta e car sharing come mezzi di trasporto sostenibili.

Fig.128 Il deposito biciclette del Tigen Kollegiet a Copenhagen.

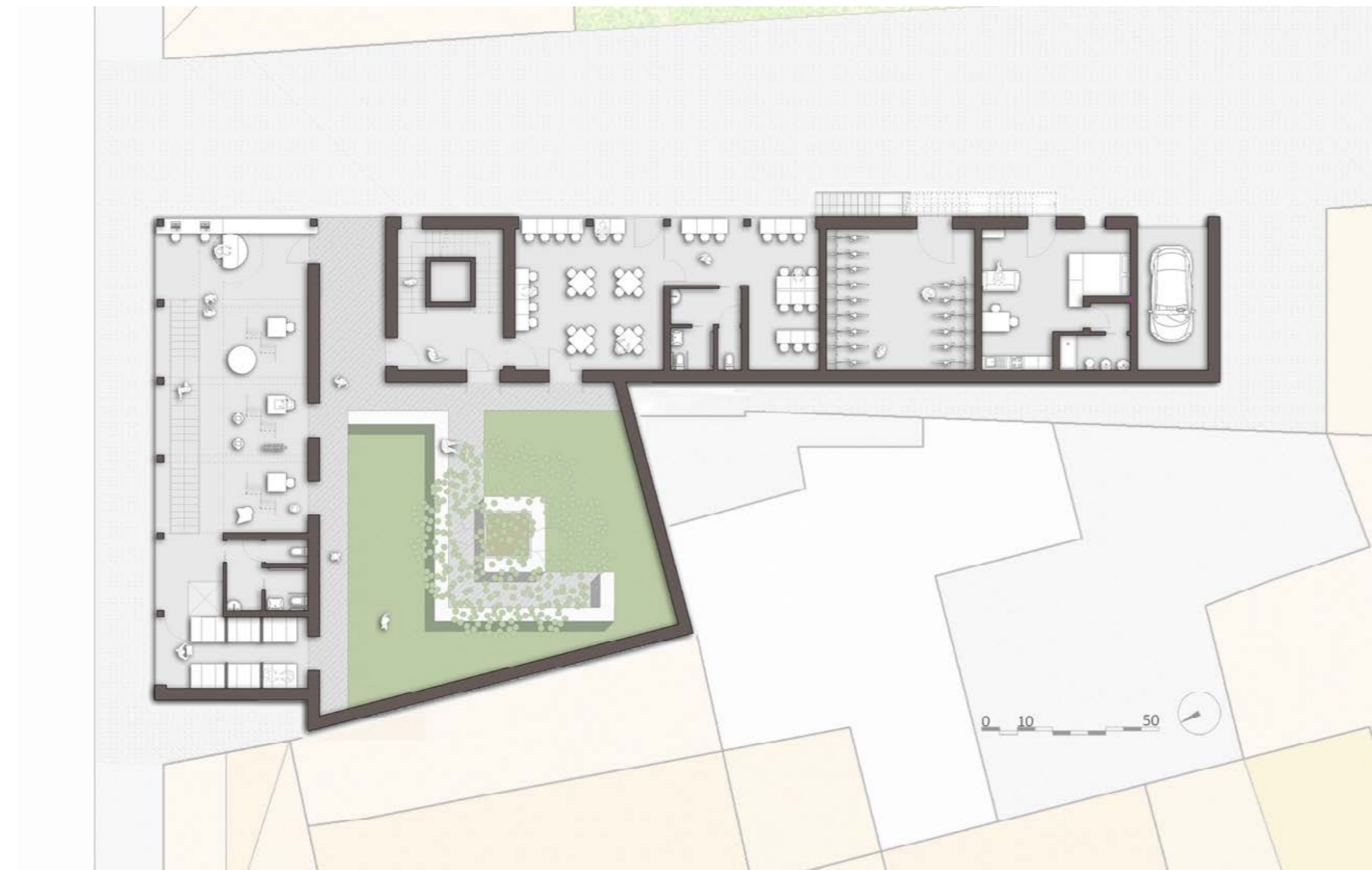


Fig.129 Pianta Livello 0

4.2.1.2 LIVELLO -1

Il piano -1, come tutti i livelli interrati, sfrutta sia lo spazio superiormente coperto dall'edificio, che l'area occupata dalla corte.

In particolare, nel livello in oggetto, le destinazioni d'uso inserite seguono la logica ed in parte la suddivisione riportata nel piano superiore. Anche in questo caso le attività non hanno unicamente scopo ricreativo, ma anche didattico, atto allo sviluppo della creatività ed all'espressione di se stessi, senza dimenticare l'aspetto di creazione di una comunità.

LABORATORI

Connesso alla parte espositiva della Banca del Tempo, tramite una scala interna e un ascensore, questo locale, rappresenta un'area attrezzata per le lavorazioni legate a tale funzione d'uso.

Oltre ad attrezzature e ripiani per le lavorazioni, è presente anche un deposito per le materie prime e i prodotti.

Questa attività è stata collocata volutamente in un piano interrato, al fine di isolarla acusticamente. Allo stesso tempo rimane connessa visivamente con la parte superiore, a maggiore frequentazione pubblica, al fine di mostrare il lato di creatività e laboriosità degli studenti.

Tale laboratorio può, inoltre, ospitare i bambini provenienti dal vicino asilo per corsi didattico-ricreativi, intensificando il rapporto tra gli studenti ed il contesto.

E' necessario sottolineare come a Brera e a Milano in generale, le attività artigianali rappresentino una tradizione e che, nell'area, come nella stessa via Palermo, si affaccino botteghe ancora in funzione, quasi a voler mostrare la laboriosità del quartiere e le capacità dei suoi abitanti, concetto che la Banca del Tempo vuole riproporre in chiave moderna e ponendo l'accento sulla nuova generazione.

MEDIA HUB

Questo spazio aperto al pubblico è un'area dedicata alla socializzazione e alle nuove tecnologie ed è composta da un open space, adibito ad attività ludiche ma anche creative, creando degli spazi tematici singoli o di gruppo.

Oltre allo spazio con giochi digitali o meno, e postazioni tablet, sono presenti anche box attrezzati dove svolgere alcune attività come l'incisione o la sperimentazione musicale, un set fotografico con schermi per la postproduzione di immagini ed infine un box per la proiezione di video o film.

Questo ambiente, è inoltre fornito di una caffetteria trattandosi di uno spazio pubblico e di socializzazione.



Fig.130 Alcune attività che caratterizzano il Media Hub.

BANCA DEL LIBRO

Seguendo il filone della banca del tempo, il concetto di scambio viene riproposto in riferimento specifico ai libri, data la funzione principale dell'edificio dedicata in primo luogo alla categoria degli studenti.

Essa si colloca quasi in continuità con il Media Hub e la Caffetteria, per dare l'impressione di trovarsi in un grande spazio in cui ogni angolo risulta caratterizzato da una specifica funzione, che da un lato risulta ludico-ricreativa, ma che allo stesso tempo ha un risvolto didattico e di utilità pratica.

LOCALI DI SERVIZIO

Data la presenza di un flusso di persone per vari momenti della giornata, è stato predisposto all'interno dell'edificio (in una posizione sotterranea data la mancanza di necessità di luce) un Market automatico, aperto 24 ore su 24 che fornisce servizi di prima necessità agli studenti durante tutte le ore del giorno e della notte.

L'inserimento di tale destinazione d'uso è validato dalle abitudini comuni agli studenti che rendono la presenza di un servizio di prima necessità, attivo a tutte le ore, una scelta molto pratica all'interno dell'edificio.

Tale Market è direttamente riferito alle attività dell'edificio durante il giorno, mentre durante la notte è ad uso unico dei residenti.

Sullo stesso piano si trova, inoltre, parte del locale impianti, direttamente accessibile dall'esterno ma protetto dall'ingresso di non autorizzati.



Fig.131 Varie attività del livello-1: Banca del Libro, Caffetteria, Market automatico.

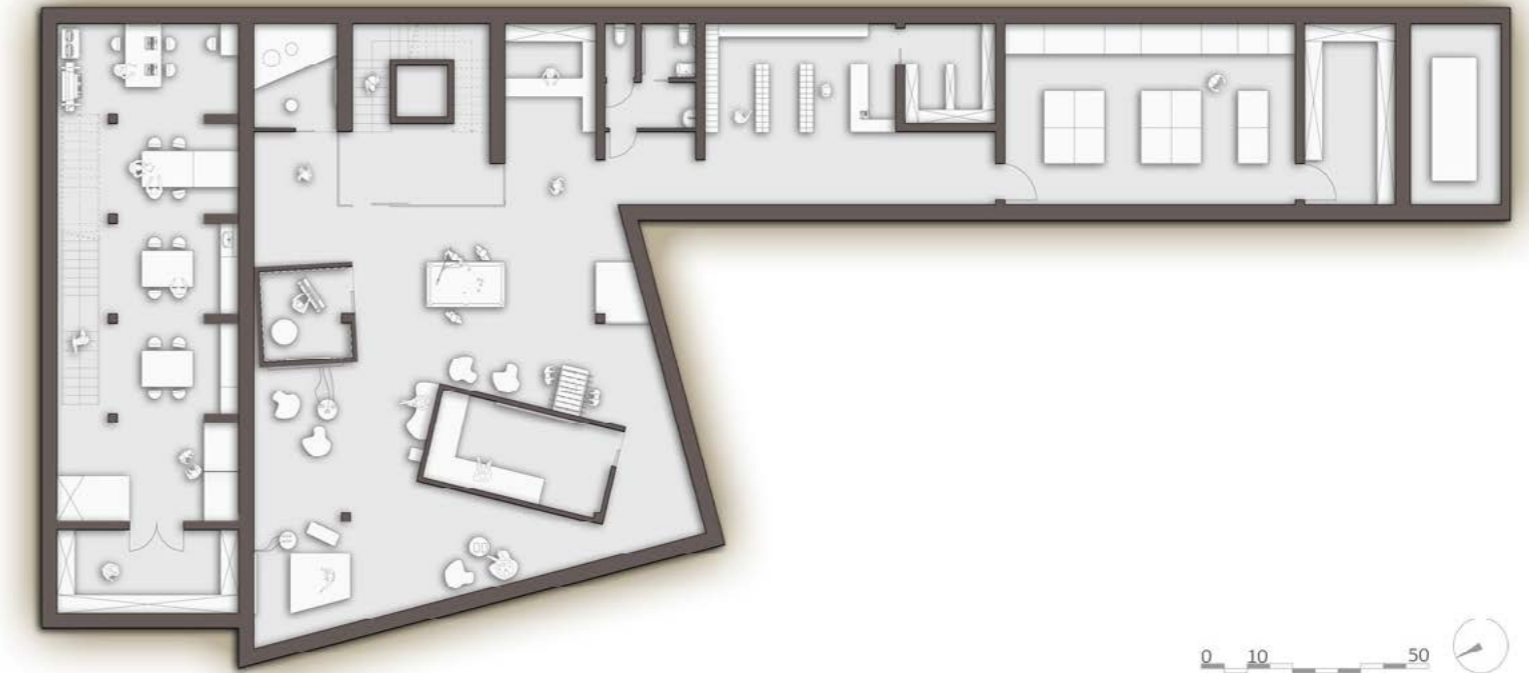


Fig.132 Pianta Livello-1.

4.2.1.3 LIVELLO -2

Questo livello mantiene la forma di quello sovrastante ed ospita per circa metà della sua superficie un'attività pubblica, e per la parte rimanente attività a servizio delle residenze. Questa suddivisione è data principalmente dal vano scale che separa il piano in due parti ben distinte.

ECO-GYM

Questa attività, rientra nel concept generale del riciclo dell'edificio, infatti se combinata con tecnologie piezoelettriche può produrre energia elettrica per lo stesso.

Lo spazio è scandito da un box centrale traslucido dove vengono svolte attività aerobiche (come stretching o step) mentre all'esterno, lo spazio risulta attrezzato da tapis roulant e cyclettes per le attività individuali.

La palestra è dotata di una reception di ingresso con spazi amministrativi e deposito da cui, con un corridoio che garantisce la privacy, è possibile giungere agli spogliatoi forniti di docce, servizi igienici ed armadietti.

La palestra non è dotata di un'infermeria interna poiché sfrutta quella a servizio dell'intero studentato, collocata sul medesimo piano per assolvere questa duplice funzione.



Fig.133 La palestra come attività che produce energia elettrica per l'edificio.

LOCALI DI SERVIZIO

Tutti gli ambienti separati attraverso il vano scala sono servizi relativi alle residenze che non hanno necessità di essere immediatamente raggiungibili o visibili dall'esterno o che non vengono utilizzati continuamente durante la giornata. Per questo sono stati collocati nel livello inferiore del fabbricato.

A questo piano è infatti presente una sala conferenze, per gli eventuali lavoratori esterni che necessitano di uno spazio di lavoro, o per gli studenti stessi, nel caso di particolari corsi.

Adiacente ad essa è presente l'amministrazione e l'archivio dello studentato.

Infine, sono stati predisposti degli spazi cantina per le residenze che ospitano due abitanti, che possono necessitare di spazio aggiuntivo.

Anche a questo piano è presente un locale impianti, verificato per quanto riguarda le dimensioni nei capitoli successivi, considerando le macchine che dovranno esservi collocate all'interno. Anch'esso è accessibile dall'esterno, in particolare passando dal vano al piano superiore. Nonostante ciò è stata predisposto un'ingresso anche dall'interno in caso di emergenza, passando per una delle cantine, non essendo tale evenienza usuale.



Fig.134 Ottimizzazione delle risorse e degli spazi, schema concettuale.

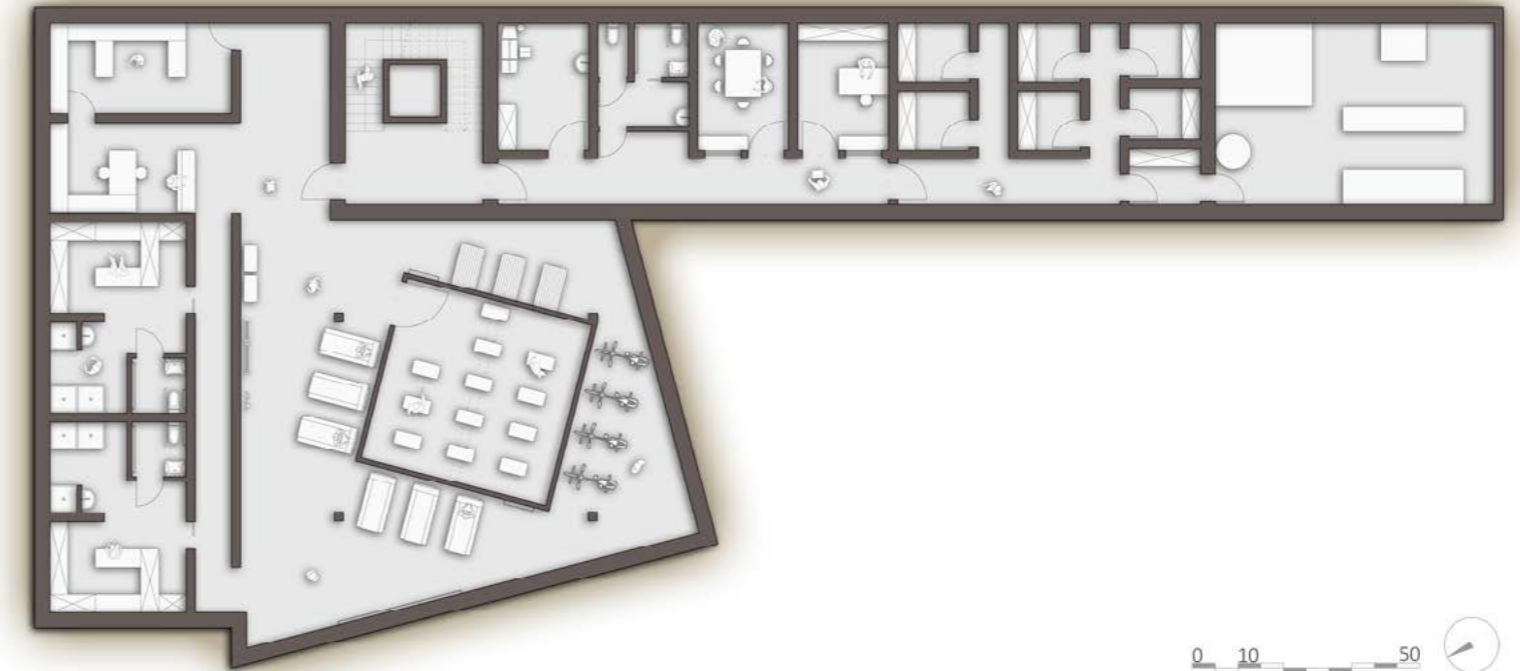


Fig.135 Pianta Livello-2.

4.2.2 DESTINAZIONI D'USO PRIVATE

Come detto in precedenza, la parte di edificio dedicata alle residenze è quella compresa fra il livello 1 e il livello 4. In questi casi, i piani si ripetono con un layout quasi sempre uguale data la tecnologia modulare utilizzata per questa parte di edificio. Le uniche variazioni sono gli spostamenti delle finestre che risultano comunque alternati piano per piano.

Il risultato raggiunto è un compromesso tra modularità e funzionalità abitativa del fabbricato.

La struttura base di ogni piano, ruota intorno al vano scale e ascensore già in precedenza nominato. A partire da esso, la distribuzione ai singoli appartamenti avviene attraverso un ballatoio chiuso a sbalzo, spesso riscontrabile nelle abitazioni milanesi. Data la tipologia residenziale, composta da unità abitative di piccole dimensioni, la creazione di un distributivo orizzontale è inevitabile. Trovandosi a Milano, nel quartiere di Brera, una zona dove il costo della superficie abitabile è elevato, per evitare di dedicare troppo spazio a questo tipo di funzione, si è scelto di collocare il distributivo di questa parte dell'edificio nei lati Sud e Ovest, dove lo spreco di superficie risulta ridotto.

Data l'orientazione di queste aree, si è scelto di chiuderle, al fine di dar loro non solo una motivazione funzionale, ma anche bioclimatica, creando delle serre solari, chiuse durante l'inverno ed aperte e schermate nei mesi estivi.



Fig.136 Differente sviluppo spaziale di due possibili collocazioni del distributivo.

La possibilità di trasformare questi elementi in semplici ballatoi nei mesi più caldi, permette di garantire la ventilazione naturale trasversale negli spazi abitativi; infatti, ogni appartamento è dotato di un doppio affaccio che permette il passaggio dell'aria, aumentando la sensazione di comfort nei mesi estivi e diminuendo così i carichi termici.

Nel caso degli appartamenti dotati di corridoio, per garantire la ventilazione naturale, sono state introdotte aperture per la ventilazione nella parte alta della parete che divide la stanza dallo spazio di passaggio, in modo tale da permettere lo scorrimento dell'aria.

Inoltre, tutte le aperture rivolte verso il distributivo comune, sono state ipotizzate in vetro satinato, per garantire la privacy anche in caso di passaggio e allo stesso tempo permettere il flusso della luce.

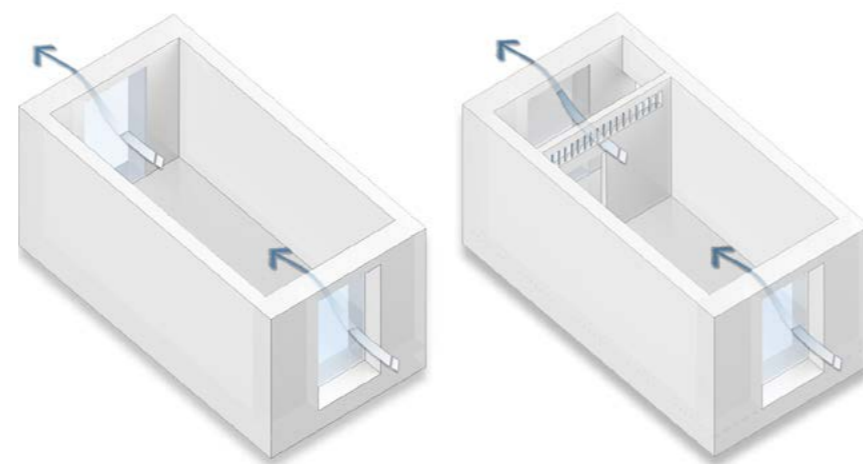
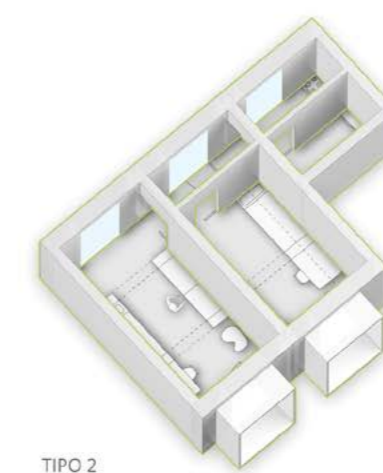


Fig.137 Ventilazione naturale trasversale negli spazi abitativi.



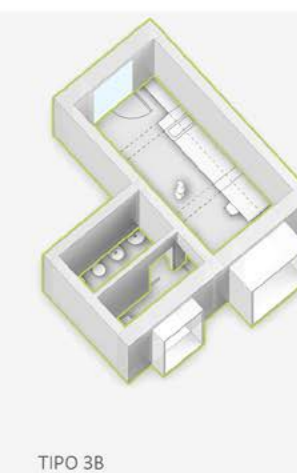
TIPO 1



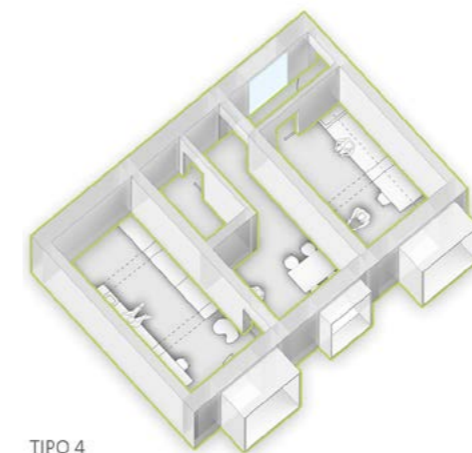
TIPO 2



TIPO 3A



TIPO 3B



TIPO 4

Fig.138 Tipologie di appartamenti:

- TIPO 1: doppio
- TIPO 2: doppio
- TIPO 3A E 3B: singolo
- TIPO 4: doppio

Per quanto riguarda la unità abitative, formate dalla composizione di moduli "Camera da Letto" e "Bagno-Cucina" (descritti nei capitoli successivi), sono presenti quattro tipologie di appartamenti: l'appartamento singolo (Tipo 3A e 3B), composto da camera da letto, servizi e cucina privati e tre tipi di appartamenti doppi (Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 4), formati da due camere da letto, cucina e servizi in comune. Tale scelta deriva dalla volontà di rispondere ad esigenze abitative diverse e dai vincoli disposti dal *DM 23/2007* che nell'*Allegato A* limita a due, gli abitanti di ogni appartamento.

Nello stesso documento è possibile inoltre trovare i minimi dimensionali per ogni tipologia di alloggio:

- un posto alloggio $\geq 24,0 \text{ m}^2$; nel caso in esame 27 m^2 ;
- due posti alloggio in camere singole $\geq 42,0 \text{ m}^2$; nel caso esposto 45 m^2 .

Nel caso dell'appartamento singolo, all'interno dell'edificio lo stesso modulo compare ruotato in due possibili configurazioni.

In tutti i casi, data la limitata dimensione degli spazi abitativi, si è scelto di dotare ogni camera da letto di corpi a sbalzo con funzione di balcone, al fine dare maggiore spazio ai residenti. Questi elementi sono quelli che caratterizzano maggiormente i prospetti dell'edificio e permettono sia di ampliare lo spazio fruibile privato, ma anche di garantire privacy e protezione alle aperture rivolte verso la strada.

In alcuni livelli, sono presenti alcune variazioni, poichè come già detto, il risultato del progetto è un compromesso tra modularità e necessità funzionali:

- LIVELLO +1: è presente un appartamento doppio nella parte più estrema del corpo Est-Ovest dell'edificio, data la presenza di un fabbricato che non permette il passaggio del distributivo che porta all'ingresso dell'appartamento come ai piani successivi;
- LIVELLO +3: in questo piano ed in quello successivo, l'edificio si restringe per quanto riguarda il corpo Nord-Sud, data la presenza di una finestra nell'edificio adiacente, che non può essere oscurata dal fabbricato in oggetto; tale limite, descritto precedentemente, permette la creazione di un terrazzo comune su questo livello, luogo di sosta e socializzazione;
- LIVELLO +4: l'ultimo piano risulta in parte dedicato alle zone comuni; vengono qui collocate, infatti, la lavanderia, la cucina comune (Canteen) e la Social Room. La prima è posta a questo livello e non nei piani interrati insieme ad altre aree di servizio, per evitare che gli studenti debbano uscire dalla zona privata per svolgere questa attività. La Canteen e la Social Room hanno la funzione di creare uno spazio di aggregazione comune ma limitato agli abitanti della residenza o ai loro invitati, al fine di creare un senso di comunità tra gli studenti che alloggiano nell'edificio. Queste aree danno anche la possibilità di fruire di uno spazio di relax o aggregazione ampio data la dimensione ridotta delle singole unità abitative.

4.2.2.1 ARREDABILITA'

Nonostante la dimensione limitata degli appartamenti, l'arredabilità degli stessi è stata verificata considerando gli standard minimi dati dal *DM 23/2007*.

L'obiettivo principale è stato la definizione di spazi standard, ripetibili tra moduli simili, creando un ambiente vivibile sfruttando il più possibile gli spazi.

Appartamenti di questo tipo sono volutamente di dimensioni limitate, al fine di essere economicamente appetibili per gli studenti. Non è quindi possibile dividere fisicamente zona giorno e zona notte come in una comune abitazione; la camera da letto è perciò sfruttata sia come spazio di riposo, che di studio, ma anche di accoglienza e svago con gli amici.

Per risolvere questo problema, come già spiegato, sono stati creati spazi comuni ma è anche stata studiata una disposizione confortevole e funzionale dell'arredo interno alle stanze.

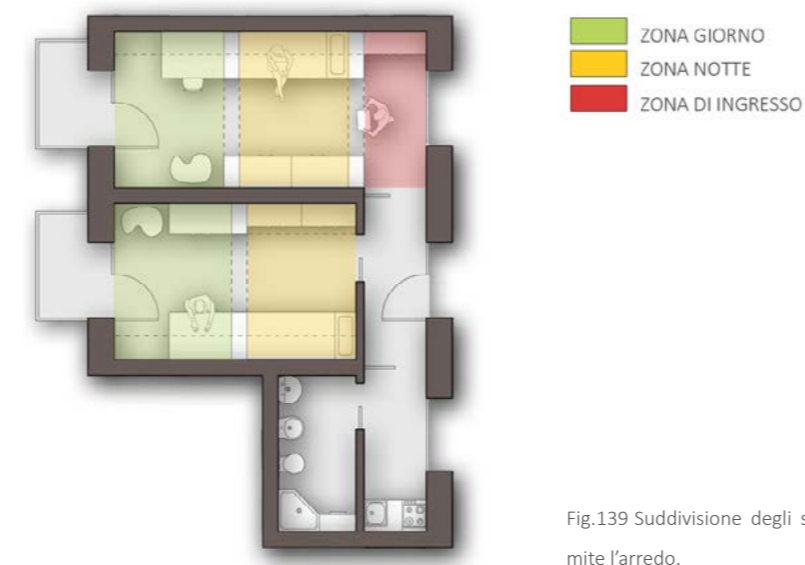


Fig.139 Suddivisione degli spazi tramite l'arredo.

Tramite arredi a soffitto, che hanno definito dei portali, è stato possibile individuare due aree all'interno della stanza: una zona notte con letto e guardaroba, ed una zona di studio e svago fronta alla finestra. Nelle stanze di maggiori dimensioni è stato possibile creare anche una zona di ingresso. Gli arredi a soffitto, risolvono anche il problema del deposito tipico degli ambienti ristretti.



Fig.140 Vista interna ad una stanza tipo.

ADATTABILITA' E DISABILI

Poichè il *DM 23/2007* prevede che almeno il 5% dei posti alloggio sia dedicato ai disabili, è stata verificata l'adattabilità della tipologia dell'appartamento singolo riferita a questa problematica.

Tale abitazione si colloca, nell'unità immediatamente adiacente al vano ascensore poichè risulta più facilmente raggiungibile dal piano terra.

Data la dimensione del modulo "Bagno-Cucina", eliminando una partizione, è stato possibile creare un servizio igienico adatto ai disabili.

La cucina è stata riproposta all'interno dell'appartamento, nell'area individuata come zona giorno, eliminando una poltrona.

Il vincolo sempre citato dalla normativa di aumentare del 10% i minimi dimensionali dell'alloggio, nel caso di utenti con disabilità risulta comunque verificato data la dimensione degli appartamenti già superiore a quella richiesta.

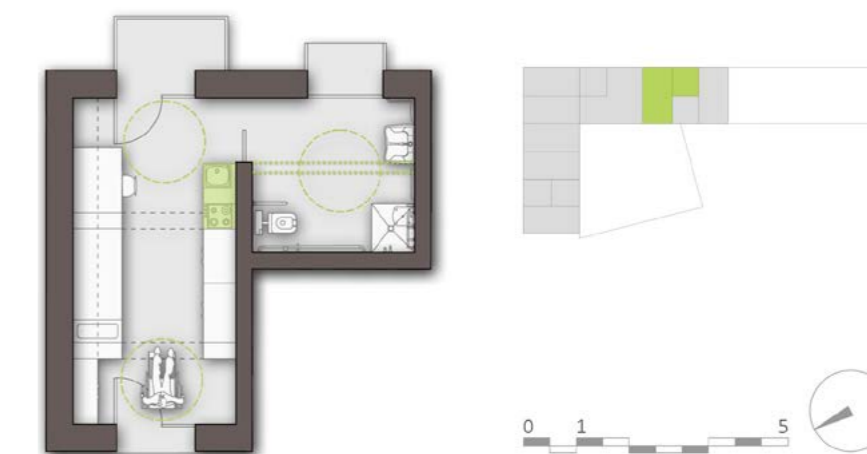


Fig.141 Adattabilità dello spazio per utenti con disabilità.

Fig.142 Pianta Livello +1.



Fig.143 Pianta Livello +2.

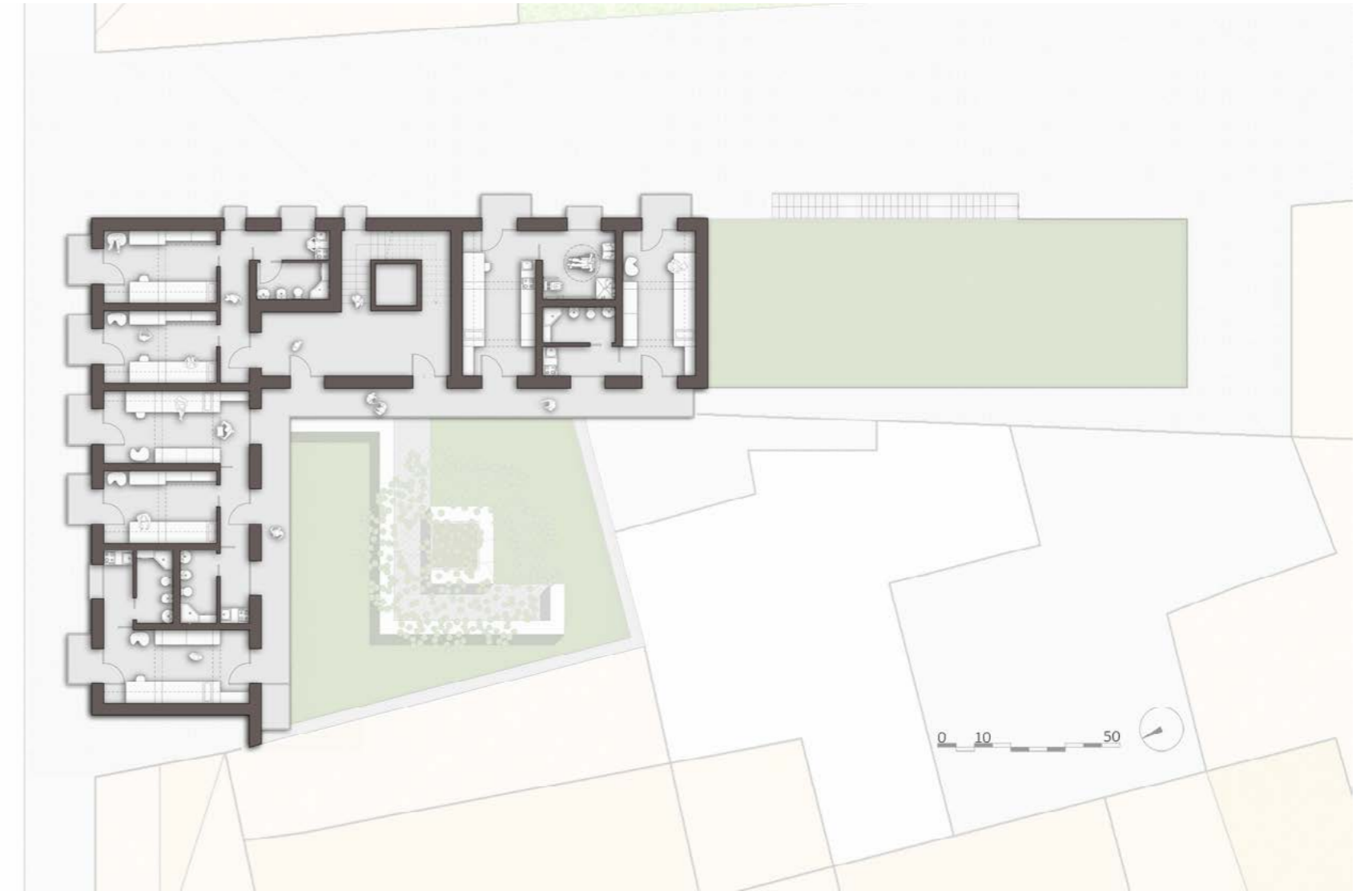


Fig.144 Pianta Livello +3.

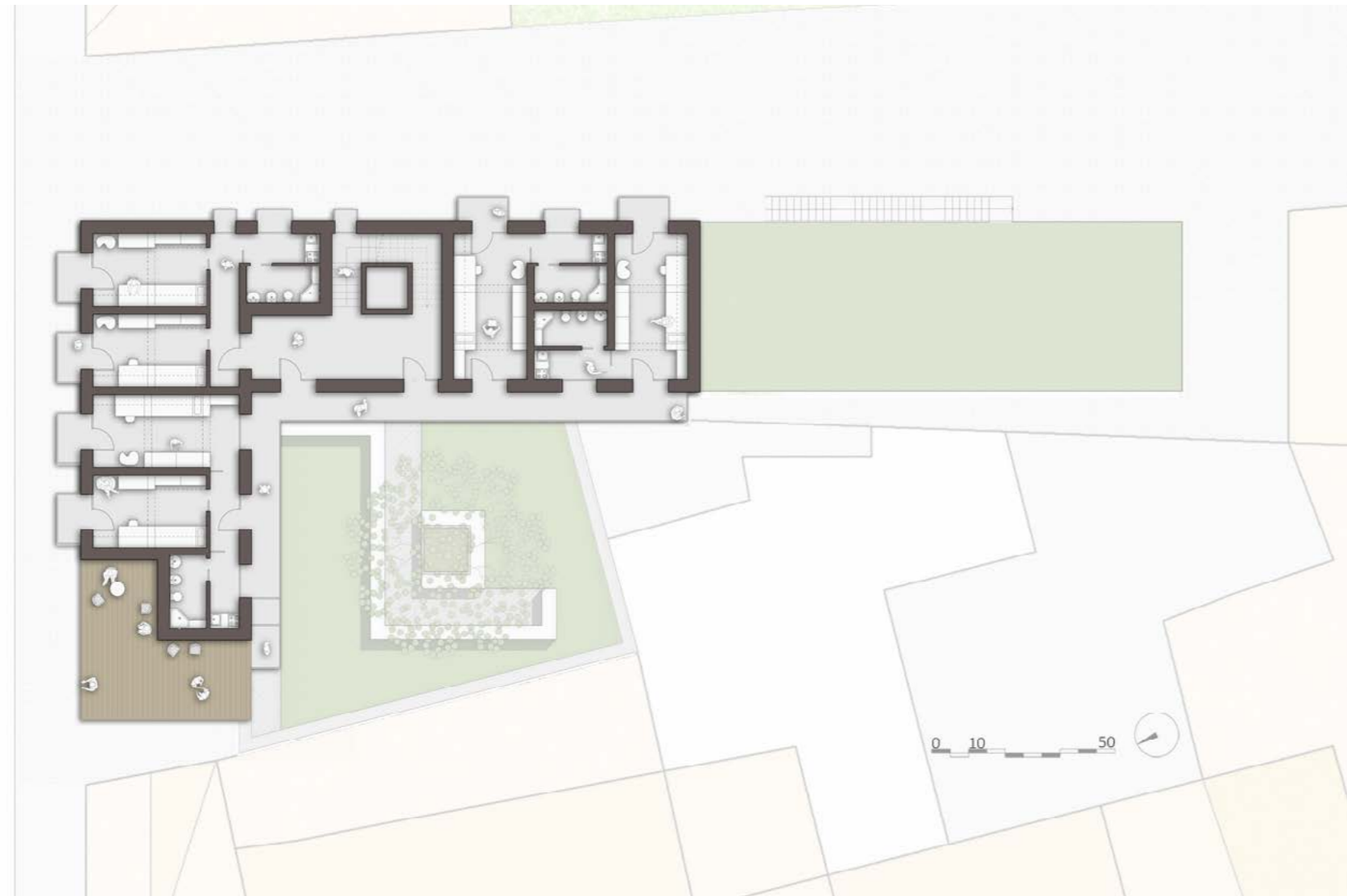


Fig.145 Pianta Livello +4.





4.3 FORMA E FUNZIONE: OTTIMIZZAZIONE MODULARE

4.3.1 I MODULI BASE

La tecnologia modulare utilizzata per la parte di edificio adibito a residenze, impone un layout interno composto da singole unità, rappresentate dai blocchi “Camera da Letto” e “Bagno-Cucina” già citati.

La dimensione di tali elementi è vincolata alla possibilità di trasporto del singolo modulo, e risulta quindi ridotta alle dimensioni minime di arredabilità e fruibilità degli spazi.

L’idea di prefabbricazione, impone inoltre limiti nella varietà della conformazione dei moduli, vincolando perciò la distribuzione interna degli spazi abitativi che si ottiene come risultato della somma dei moduli base precedentemente imposti.

Poiché il layout interno, però, influenza notevolmente sia la vivibilità degli spazi che l’aspetto esteriore dell’edificio, è stato attuato un percorso di ottimizzazione basato sul compromesso tra ripetitività della forma, comfort e vivibilità interna, possibilità di trasporto e movimentazione, arredabilità in serie.

Il punto di partenza del lavoro di definizione dei moduli, è stato scegliere dimensioni interne minime, conformi agli ingombri massimi di costruibilità e posa in opera.

Sono stati così ottenuti due moduli base con dimensioni interne 3 x 3 m (Tipo 1) e 6 x 3 m (Tipo 2).

Il primo corrisponde agli elementi con funzione di servizi igienici e cucina, che in alcuni casi sono accorpati in un unico modulo della seconda dimensione, il quale corrisponde all’ingombro definito per le camere da letto.

Partendo da tali elementi, sono state definite diverse variazioni relative alla presenza o meno di cornici, alla sporgenza delle stesse, all’eliminazione di partizioni o serramenti interni, allo spostamento di finestre. Tali differenziazioni però sono sempre in alternanza o modulari per soddisfare il criterio di ottimizzazione a livello di produzione prefabbricata.

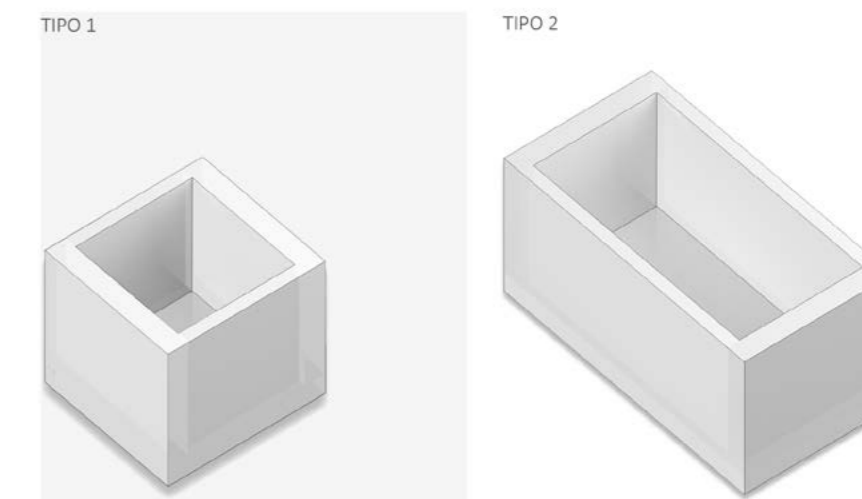


Fig.146 Vista della Social Room.

Fig.147 Moduli base.

4.3.2 TIPO 1: VARIAZIONI

MODULO A

Nel caso del modulo base relativo agli ambienti di servizio con dimensioni interne 3 x 3 m, è presente un'unica tipologia di elemento, disposto in maniera sovrapposta.

Il numero totale di questo elemento all'interno dell'edificio, è di 1 unità.

Il modulo è caratterizzato dalla presenza di una parete divisoria che distingue i due ambienti di bagno e cucina, di una porta e di un serramento vetrato.

Da tale elemento, assemblato a due a due, viene composta una delle variazioni del modulo base di Tipo 2 che verrà esposta in seguito. La scelta di non mantenere singoli questi elementi, nel caso del loro posizionamento in adiacenza a due a due, deriva dalla volontà di ottimizzare il processo produttivo, di trasporto e di posa, al fine di ridurre le operazioni legate a queste lavorazioni e attività.

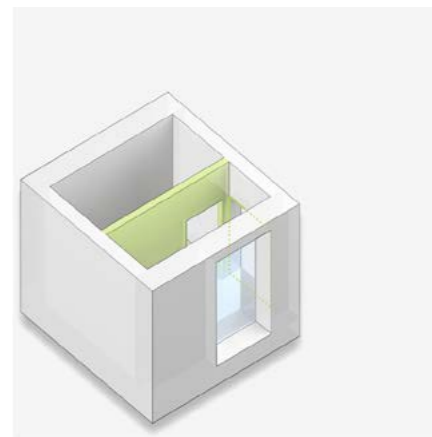


Fig.148 Modulo A.

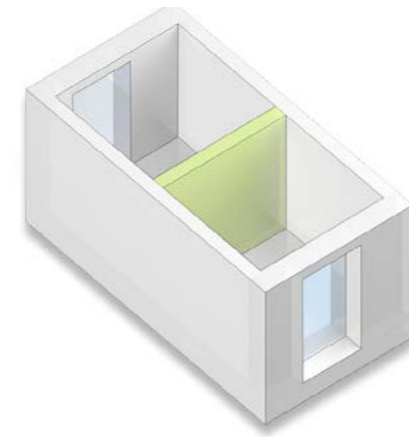


Fig.149 Modulo B.

4.3.3 TIPO 2: VARIAZIONI

MODULO B

Viene ora presentata la tipologia di modulo a partire dalla quale si ottiene l'elemento composto dalla somma degli elementi A.

Esso si divide di due parti di dimensioni 3 x 3 m come quello appena citato e da due aperture verso l'esterno.

Partendo da esso vengono individuate tre variazioni principali:

- B1: è il modulo A a cui viene associata la cornice frangisole esterna di 50 cm, due porte interne e i due blocchi vengono a loro volta separati in due ambienti, esattamente come il modulo A; esso si distingue a sua volta negli elementi B1', B1F e B1'F rispettivamente caratterizzati dalla presenza di una cornice di soli 10 cm, dallo spostamento di una delle due finestre di una distanza modulare di 60 cm (che si ripete in altri moduli) e dalla presenza su quest'ultimo di una cornice di 10 cm anziché 50 cm;
- B2: deriva dal B1 ma è caratterizzato dall'assenza di uno dei due blocchi, poiché rappresenta quello collocato in adiacenza al vano scale, che, quindi, in una parte di esso accoglie lo spazio di distributivo comune; anche in questo caso è presente una variazione B2F dovuta allo spostamento della finestra ancora di uno scarto di 60 cm;
- B3: è l'unità abitativa dedicata agli studenti con disabilità, ed è caratterizzato dalla mancanza di una delle due pareti divisorie al fine di creare maggiore spazio fruibile;
- B4: è quello che si differenzia maggiormente a causa di motivi di distribuzione dei flussi verso gli appartamenti a causa dell'ostruzione di possibili finestre causate da un fabbricato adiacente all'edificio in esame.

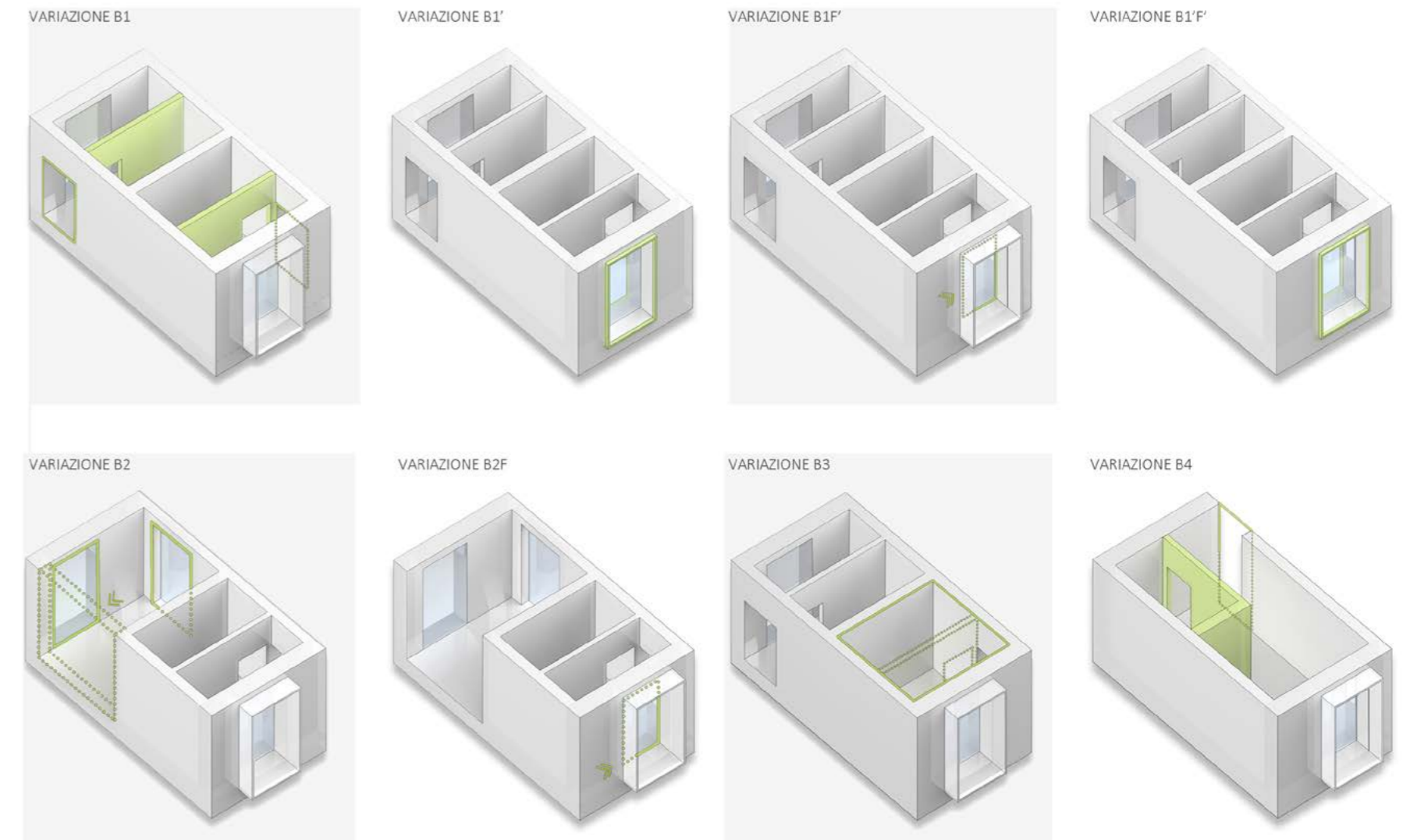


Fig.150 Variazioni Modulo B.

MODULO C

Il modulo C è riferito agli elementi che hanno la funzione di camera da letto e si differenzia dall'elemento di Tipo 1 per la presenza di aperture verso l'esterno. Esso presenta alcune variazioni dovute alla composizione dei diversi appartamenti, dovuti alle necessità di comunicazione o separazione di ambienti mediante l'aggiunta di porte o partizioni interne.

I sottomoduli quindi ottenuti sono:

- C1: è l'elemento che compone l'appartamento singolo e presenta una cornice esterna con funzione di balcone, oltre ad una porta interna per la connessione con lo spazio cucina adiacente; esso può variare secondo i modelli C1', C1R e C1'R. Nel primo caso, la cornice viene spostata rispetto alla finestra di una distanza di 60 cm (la stessa citata nei casi precedenti); nel secondo il modulo viene ruotato per ottenere la connessione con lo spazio di servizio in posizione opposta, portando così all'aggiunta della cornice nella parete contrapposta; in-

fine nel modulo C1'R, la cornice risulta nuovamente spostata di 60 cm

- C2: la cui differenza dal C1 è lo spostamento della porta nel lato opposto della stessa parete e l'eliminazione della finestra di ingresso;
- C3: in questo caso è presente una partizione interna per delimitare una zona di connessione, e la conseguente apertura di uno dei due lati per il passaggio; un'altra differenziazione è data dallo stesso scarto di 60 cm della cornice; il modulo così ottenuto è quindi il C3'; le variazioni C3P e C3P' sono invece dovute rispettivamente all'aggiunta di una porta ed allo spostamento su quest'ultimo modulo così ottenuto della cornice secondo le distanze già definite;
- C4: presenta la differenza principale dovuta all'aggiunta di una finestra sul lato lungo per l'illuminazione del corridoio, per l'eliminazione di un'apertura esterna e l'aggiunta di una porta interna; la variazione C4' deriva nuovamente dallo spostamento della cornice coerentemente con le altre presenti in facciata.

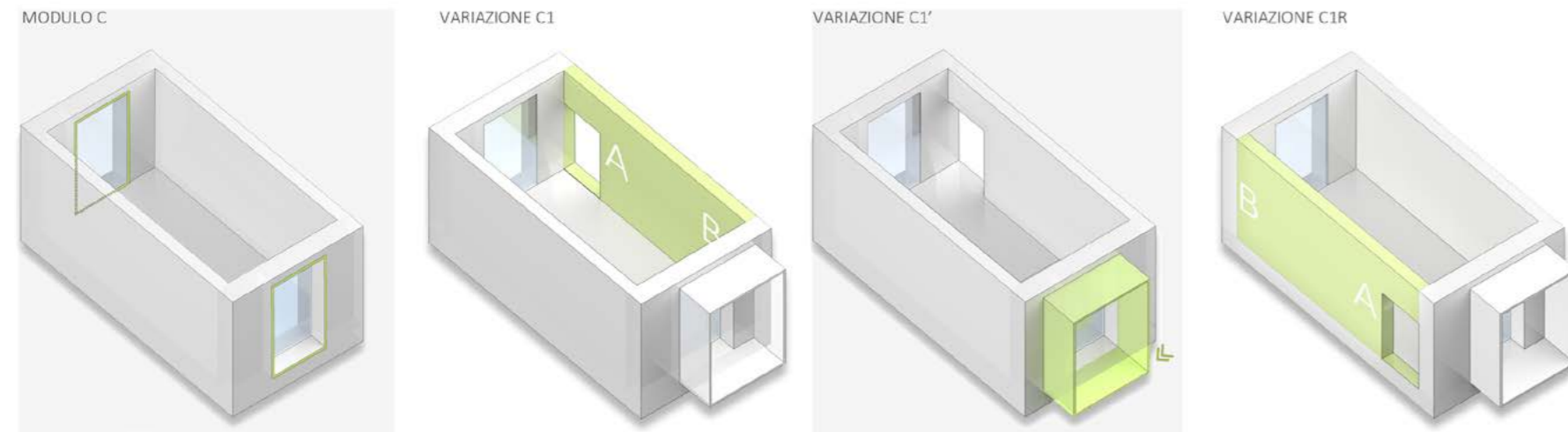


Fig.151 Modulo C e variazioni.

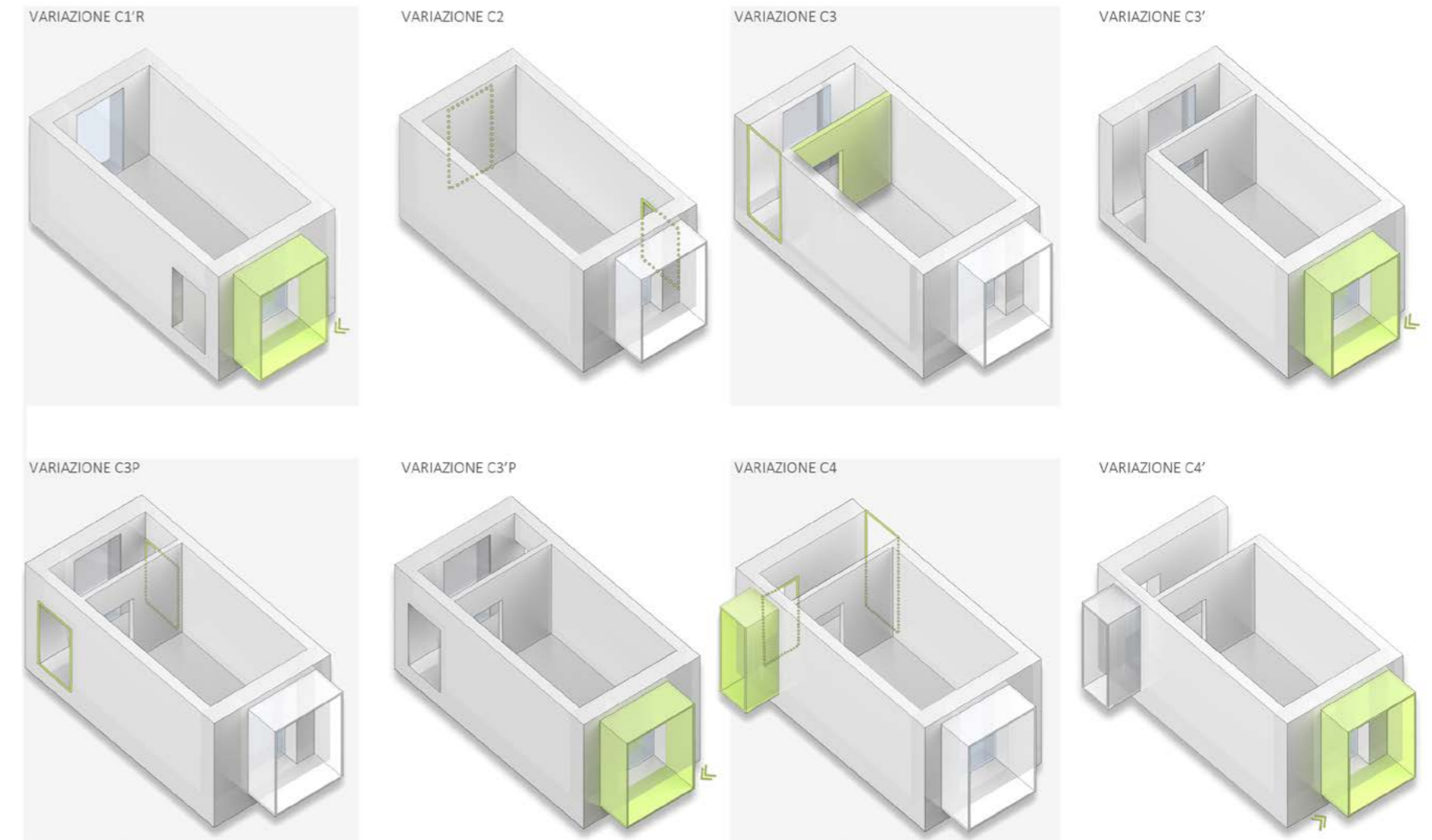
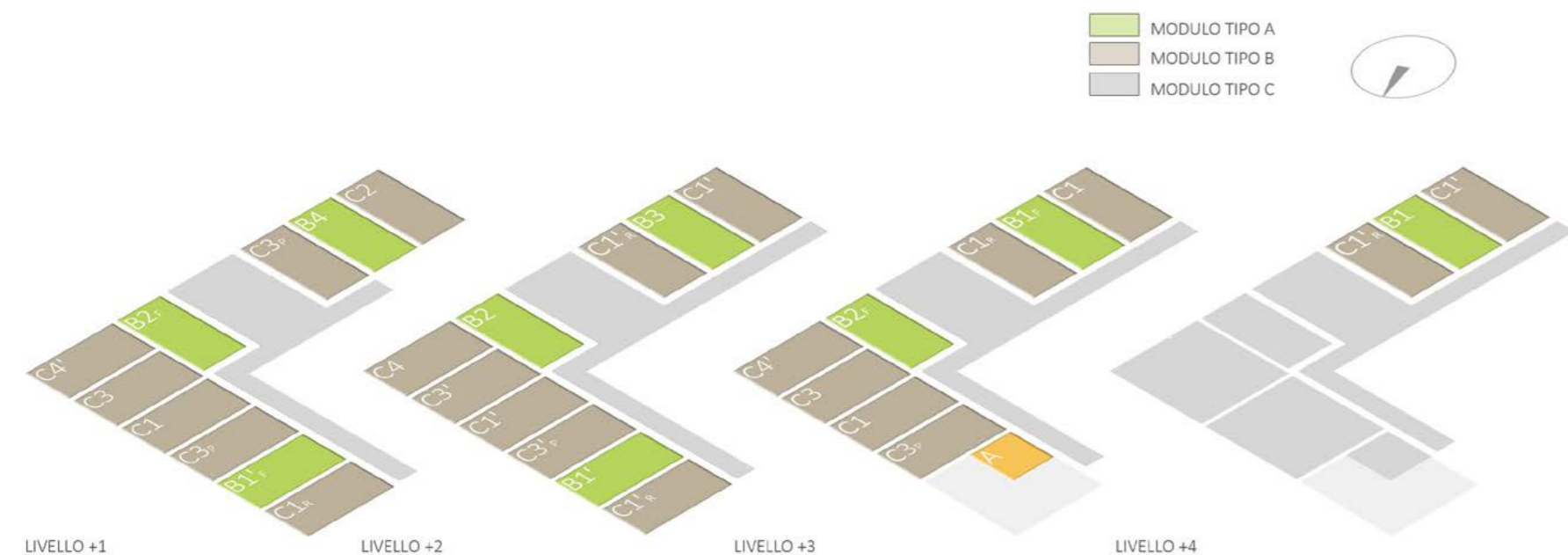


Fig.152 Variazioni Modulo C.

4.3.4 LA DISPOSIZIONE NELL'EDIFICIO

Una volta descritti tutti i moduli con le rispettive variazioni, di seguito è riportata una rappresentazione che sintetizza la disposizione degli elementi all'interno dell'edificio.

L'analisi dell'ottimizzazione precedentemente spiegata e riportata nell'immagine si riferisce agli elementi che compongono le residenze, essendo quelli che permettono una maggiore ripetitività del modulo e sono quindi più adatti a questo tipo di studio.



LIVELLO +1

LIVELLO +2

LIVELLO +3

LIVELLO +4

Fig.153 Distribuzione dei moduli sui vari livelli.

4.4 I FRONTI

Il contesto urbano di Milano è caratterizzato dalla presenza di cortine edilizie, continue e chiuse sul fronte strada. All'interno, invece, si rivela la reale identità del condominio milanese: gli edifici sviluppano una dimensione più domestica dovuta alla presenza di ballatoi aperti e delle tipiche corti verdi condominiali. Le analisi del contesto hanno rivelato che lo stesso schema si ripropone anche per gli edifici di Via Palermo e quindi tale caratterizzazione ha influito anche nello sviluppo dei fronti dell'edificio. Infatti i prospetti Nord ed Est si presentano chiusi verso la strada, mentre i fronti Sud ed Ovest sono caratterizzati dalla presenza di una serra aggettante con funzione di ballatoio, sulla corte interna.

L'altezza di MODULA è stata determinata dalla scelta di uniformarsi agli edifici adiacenti della cortina edilizia, nonché dall'esigenza di rispettare i vincoli urbanistici imposti, già esplicitati in precedenza.

Tutti i fronti si caratterizzano per la presenza, a partire dal livello +1, di elementi aggettanti, declinati nella forma di cornici per i prospetti Nord ed Est, e nella forma di serre per i prospetti Sud e Ovest. Sempre per perseguire l'obiettivo di costruire in armonia con il contesto preesistente, tali aggetti trovano un corrispondente allineamento con gli elementi caratterizzanti le facciate degli edifici adiacenti. Anche per gli allineamenti verticali riscontrabili nelle facciate è stato adottato lo stesso principio.

Basandosi ancora sulle peculiarità del contesto si è scelto di utilizzare l'intonaco come rivestimento esterno. In base ad esigenze principalmente energetiche, a seconda dell'orientamento del fronte, questo rivestimento è stato inserito nelle differenti cromie che variano dal rosso, al grigio, al giallo e al bianco.



Fig.154 Corrispondenze dimensionali tra edificio e contesto.



Fig.155 Corrispondenze dimensionali tra edificio e contesto.

In vista, sia della differente destinazione d'uso, che della diversa tecnologia costruttiva, il piano terra si differenzia dagli altri piani, caratterizzandosi per la preponderanza dei vuoti sui pieni per i fronti Nord ed Est, e per la chiusura dei fronti rivolti verso la corte interna. In tal modo, per le facciate Nord ed Est si viene a creare una sorta di basamento per i livelli soprastanti, che richiama l'assetto degli edifici dell'intero contesto, e si crea per i prospetti Sud e Ovest, una cesura che ripristina il carattere introversivo della corte interna, evitando che questa risulti visivamente a contatto con il fronte stradale.

Il concept di progetto viene prefigurato per i rimanenti piani soprastanti grazie all'utilizzo della tecnologia a moduli tipo container che fanno emergere in facciata la modularità senza che la struttura venga mai esposta esplicitamente. In tal modo si evita di creare contrasto con il contesto urbano così tradizionalmente milanese quale è quello di Via Palermo e di Brera. La modularità di facciata viene resa anche dal riproporsi degli elementi cornice in un susseguirsi di tre dimensioni differenti.

Talvolta le cornici sono state inserite sfalsate all'interno di elementi prefabbricati uguali al fine di evitare di realizzare un'architettura troppo rigida e funzionalista. Si è cercato pertanto di arrivare ad un'ottimizzazione che comprendesse tutti gli aspetti: funzionale, tecnologico, economico, architettonico-compositivo.

Tutti i prospetti, pur rispondendo ad linguaggio architettonico comune ottenuto ricorrendo agli stessi elementi principali, si caratterizzano in modi differenti in base alle diverse esigenze di tipo energetico, funzionale e costruttivo, richieste dalla diversa esposizione del fronte.

La variazione di cromie, il balatoio a sbalzo sulla corte interna, le cornici aggettanti sul fronte strada, la trasposizione della vegetazione in facciata, nonché l'assetto funzionale dell'edificio, sono stati ispirati dall'analisi del contesto ed in particolare, dalle opere dei grandi maestri dell'architettura a Milano del XX secolo quali

Ponti, Terragni e Muzio, che hanno contribuito a caratterizzare dette aree. Infatti il progetto risulta connotato dalla ricerca della semplicità volumetrica, distinta dai colori differenti presenti nelle facciate, e dalla conformazione delle aperture, nonché dall'attento uso di materiali tipici della tradizione. In particolare, l'articolazione dei prospetti è realizzata tramite un'originale distribuzione degli elementi di facciata. L'introduzione di questi elementi è il frutto di una precisa volontà progettuale che mira a rappresentare la "milanesità" dal punto di vista distributivo-funzionale, architettonico-compositivo ma anche nella scelta dei materiali e dei colori.

Nel seguito della trattazione verrà esplicitato con maggior dettaglio come le intenzioni dichiarate siano state tradotte in scelte puntuali, giustificandole sia dal punto di vista architettonico-compositivo, sia soprattutto, dai punti di vista costruttivo, funzionale ed energetico.

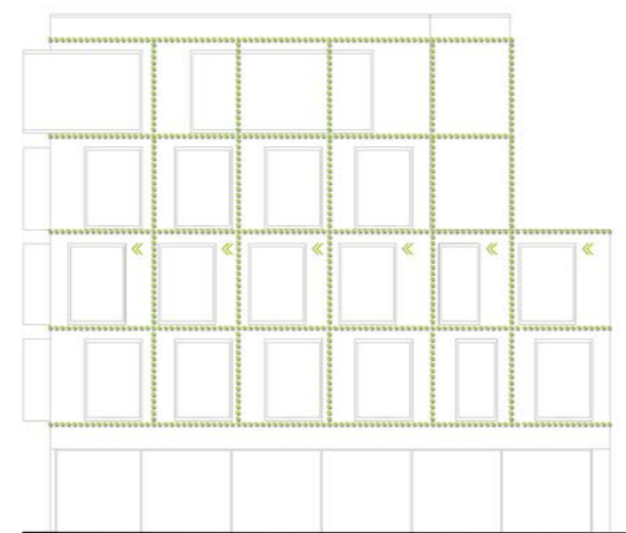


Fig.156 Corrispondenze tra sperture e moduli.

4.4.1 PROSPETTO NORD

Il fronte Nord presenta una netta distinzione tra il piano terra e i piani soprastanti. Il piano terra infatti, come già precedentemente accennato, è caratterizzato dalla prevalenza di un'ampia porzione vetrata. L'introduzione di elementi trasparenti permette alla facciata di arretrate leggermente creando, in questo modo, una cesura, che richiama la divisione tra il basamento in pietra e la parte soprastante in intonaco, caratteristica della maggior parte degli edifici presenti sia in Via Palermo, che in generale in tutto il contesto milanese. L'importante vetrata consente inoltre agli esercizi ubicati al piano terra una visibilità dalla strada.

I piani destinati alle residenze presentano un rivestimento di finitura in intonaco, caratterizzato da una peculiare cromia che si bilancia tra le tonalità del rosso e del marrone, rapportandosi in armonia con i cromatismi rilevati durante le analisi del contesto, senza però esserne una pedissequa imitazione. Detta cromia, oltre a rifarsi ai colori della città di Milano, costituisce uno di quegli elementi attraverso cui rendere la "milanesità" tipica all'interno del progetto. Inoltre l'intensità del colore risulta essere perfettamente in linea con le esigenze di tipo energetico, richieste dal fronte in esame. Infatti tale orientamento non risulta interessato da particolari problematiche legate all'incidenza solare.

Per le stesse ragioni gli elementi cornice non fungono da oscuramento, come invece avviene per gli altri fronti. Le cornici rappresentano un'estensione dello spazio usufruibile in corrispondenza delle camere degli alloggi, che presentano ambienti di dimensioni moderate, data la specifica destinazione d'uso. Le cornici sono inoltre caratterizzate da un rivestimento a trama forata metallica, che consente agli ambienti interni un ulteriore privacy dagli edifici antistanti presenti nella ristretta cortina edilizia.

Dal fronte Nord è inoltre possibile scorgere il terrazzo al terzo livello, attraverso il

quale viene ripreso il verde delle corti interne milanesi. Utilizzando la tecnologia a parete verde verticale, detto elemento viene riportato in facciata, ispirandosi alle architetture delle principali personalità che hanno caratterizzato il panorama architettonico milanese del XX secolo. Si viene così a creare uno spazio panoramico sulla città destinato alla collettività degli studenti. Tale ambiente si affaccia anche verso il fronte stradale rompendo, in tal modo, lo schema tipico del condominio milanese, ma confacendosi maggiormente alla destinazione d'uso attuale dell'edificio. L'aver adibito tale ambiente a terrazzo permette di non lasciare spazio inutilizzato conformandosi, allo stesso tempo, ai vincoli urbanistici precedentemente esplicitati, che vietano di costruire a partire dal terzo livello in adiacenza all'edificio accanto.



Fig.157 A. MANGIAROTTI Condominio in via Quadrorno, Milano (1959-60).



COLORI E MATERIALI

Rilievo delle cromie rosse



Rilievo delle cromie ocre



Fig.158 Riferimento alle cromie campionate nell' "Analisi dei cromatismi".

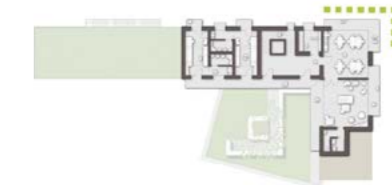
4.4.2 PROSPETTO EST

Il fronte è maggiormente connotato dalla cromia ocre del piano terra che si rifà molto strettamente agli edifici del contesto più prossimo. Il cambio di colorazione tra piano terra e livelli superiori contribuisce, in maggior misura rispetto al fronte Nord, a prefigurare l' effetto basamento descritto in precedenza. Detto stacco cromatico permette inoltre di segnalare la differente destinazione d'uso pubblica/privata che si realizza all'interno dell'edificio.

Le cornici, che aggettano dai moduli adibiti a funzione di camera, mantengono le stesse peculiarità e caratteristiche del fronte nord, con la differenza che le stesse vengono integrate con elementi di oscuramento mobili, caratterizzati sempre da un rivestimento a trama forata. Invece, gli elementi cornice che aggettano dal vano scale, o da ambienti di servizio, poiché la porzione vetrata retrostante risulta essere di dimensioni più ridotte, non hanno bisogno di essere integrati con degli elementi frangisole indipendenti.

Al quarto livello sono presenti degli elementi cornice che si disostano per dimensione da quelle poste agli altri livelli, integrandosi comunque in modo proporzionale ed armonico nel prospetto. La variazione dimensionale della cornice è dovuta al fatto che la stessa rappresenta un ulteriore spazio fruibile all'aperto, a servizio degli ambienti destinati alle attività collettive degli studenti. Pertanto, la scelta di una cornice ad angolo, tra fronte Est e fronte Nord, oltre ad essere giustificata dal punto di vista costruttivo e funzionale, trova anche riscontro dal punto di vista architettonico-compositivo, poiché contribuisce a rendere quella "milanesità" costantemente ricercata.

RIFERIMENTO CORNICE AD ANGOLO



La peculiare cornice ad angolo al quarto livello, oltre ad essere giustificata dal punto di vista funzionale e costruttivo, trova anche un riscontro architettonico-compositivo e contribuisce a rendere la "milanesità"

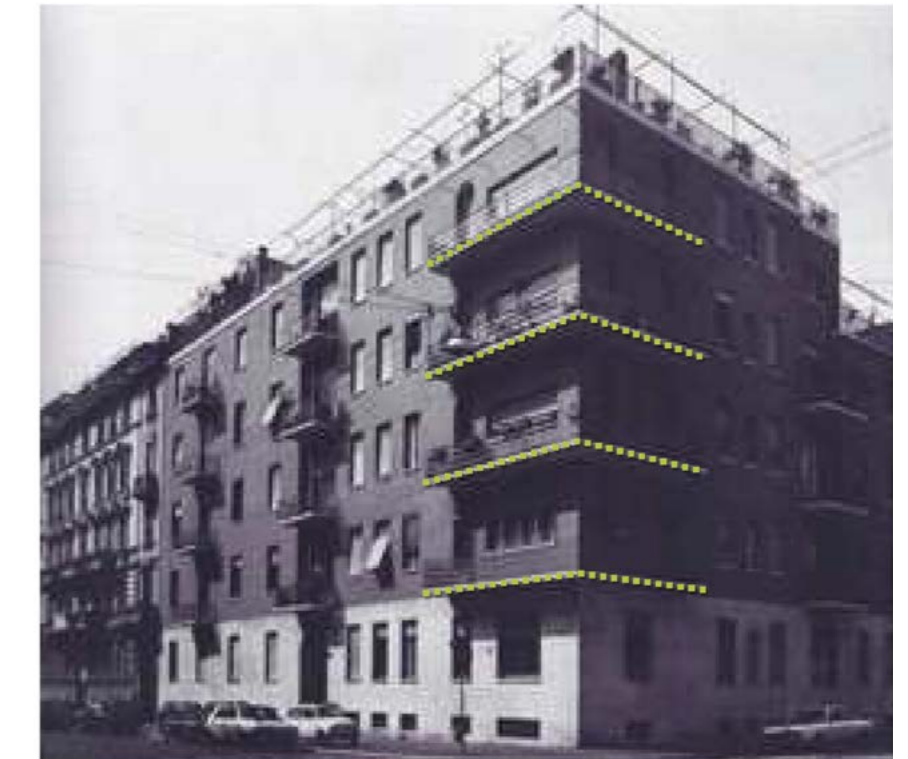


Fig.159 GIO' PONTI Domus Flavia in via Cicognara, Milano (1933-34).



Il fronte Est presenta una certa variazione di cromie che caratterizzano il rivestimento di finitura in intonaco. Infatti dalle analisi preliminari condotte è emerso che gran parte del prospetto è investito da valori di radiazione solare incidente consistenti, anche nella stagione più critica. Si è reso dunque necessario attribuire al rivestimento in intonaco una tinta più chiara, per limitare il rischio di deformazioni della struttura di sostegno del rivestimento esterno, e limitare i guadagni solari degli ambienti interni.

Per mantenere coerenza con il sistema costruttivo retrostante e anche per motivi di ottimizzazione funzionale ed economica, il colore rosso intenso caratterizza tutti i moduli tipo container che si affacciano anche verso il fronte nord; poiché tale parte di facciata non risente comunque delle problematiche relative alla radiazione solare incidente. Lo stacco di cromia viene bilanciato con l'introduzione di una striscia nella tonalità neutra del grigio. La palettes cromatica scelta è stata sia il frutto di una volontà estetica che di un'attenzione verso l'immediato intorno, poiché trae spunto, ancora una volta, dai canoni trasmessi delle celebri opere analizzate.



Fig.160 Vista Nord-Est.

Fig.161 Prospetto Est.



Fig.162 GIO' PONTI Domus in via De Togni: la Giulia, la Carola e la Faustina, Milano (1931-33).

4.4.3 PROSPETTO OVEST

L'elemento che si impone e caratterizza tale fronte è la serra aggettante con funzione di ballatoio. Tale elemento, per connotazione, forma e dimensioni, cerca di porsi in continuità con gli elementi cornice che caratterizzano i fronti Nord ed Est. Anche il sistema costruttivo di ancoraggio alla parete verticale di facciata è il medesimo, per la serra e per le cornici. Infine anche gli elementi di oscuramento della serra sono analoghi a quelli descritti per il fronte Est.

La cromia che caratterizza il prospetto è la stessa, chiara, che viene ripresa dal fronte Est. La cromia ocra invece viene mantenuta per il piano terra e viene ripresa per le superfici interne retrostanti la serra.

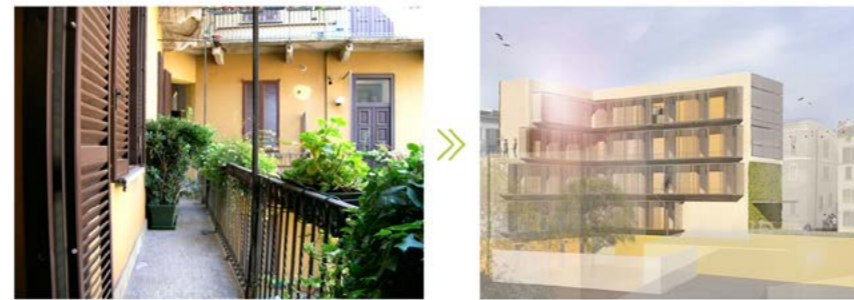


Fig.164 Complesso residenziale a Milano: ballatoio a sbalzo su corte interna.

STUDIO DELL' ACCOSTAMENTO DI CROMIE DIFFERENTI



Rifacendosi ad una delle più celebri opere di Gio Ponti si è scelto di bilanciare lo stacco di cromia tra rosso e bianco inserendo una striscia sulla tonalità più neutra del grigio. La paletta cromatica scelta si rifà sempre ai colori rilevati durante l'analisi dei cromatismi.

Fig.163 Studio accostamento dei cromatismi.

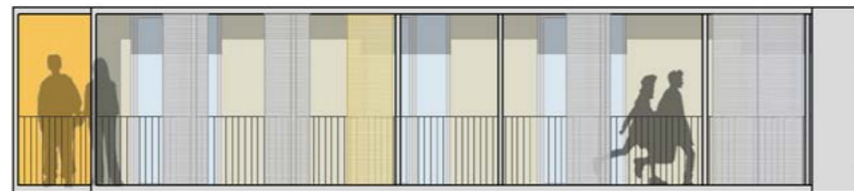


Fig.165 Estratto prospetto Ovest:serra con funzione di ballatoio.

4.4.4 PROSPETTO SUD

I fronti Sud e Ovest sono caratterizzati da una connotazione omogenea poiché entrambi, dal punto di vista funzionale-architettonico, sono rivolti verso la corte interna ed entrambi, dal punto di vista energetico, devono rispondere ad analoghe problematiche relative all'incidenza della radiazione solare.

Il fronte si configura con un prolungamento del piano terra, al di sopra del quale viene realizzato un tetto giardino caratterizzato, ancora una volta, dalla prosecuzione della vegetazione anche lungo la parete verticale, che si affaccia sullo stesso.



Fig.166 Prospetto Sud.

Tale ambiente è destinato ad accogliere le attività di svago e relax degli studenti poiché lontano dal caos e dallo smog del traffico milanese e immerso in un' area pedonale. Detto ambiente risulta coperto, in parte, da un pergolato in legno, che consente di ottenere zone più fresche di ombra. Un elemento nuovo introdotto per dare carattere e vigore al prospetto sud e per esigenze impiantistico-energetiche sono i pannelli fotovoltaici a parete.

Tutti questi elementi, ripresi e rimodellati a seconda delle esigenze, denotano un edificio che si evolve cambiando la propria risposta puntualmente a seconda delle esigenze energetiche, funzionali, economiche, architettonico-compositive dell'orientamento.

05

PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

5.1 IL MODULO PREFABBRICATO: IMPLEMENTAZIONE DEI PACCHETTI TECNOLOGICI

5.1.1 Componibilita'

5.1.2 Compattezza e movimentazione

5.1.3 Continuita' di isolamento

5.2 OTTIMIZZAZIONE DEI MATERIALI

5.2.1 Leggerezza

5.2.2 Sostenibilita' e prestazioni

5.3 VERIFICHE PRESTAZIONALI

5.3.1 Prestazioni termiche

5.3.2 Prestazioni acustiche

5.4 DETTAGLI TECNOLOGICI

Nel presente capitolo s'introducono le scelte tecnologiche adottate all'interno del progetto che, data la tipologia costruttiva, sono fortemente condizionate dalla soluzione prefabbricata e modulare su cui si sviluppa l'intera opera. Questo vincolo influenza la progettazione soprattutto in termini ergotecnici, dovendo porre particolare attenzione alla posa in opera e alla componibilità dei diversi moduli in sito.

Inizialmente si descrive quindi il processo di definizione dei pacchetti, attraverso l'implementazione a secco del modulo prefabbricato di tipo industriale e mediante l'adozione di un sistema Struttura/Rivestimento per le parti eseguite in sito (struttura in calcestruzzo armato). Successivamente, dai pacchetti tecnologici così definiti, si descrive il processo di ottimizzazione eseguito in termini di peso e spessore, senza dimenticare sostenibilità e ricerca di materiali riciclati o riciclabili.

Consecutivamente si dimostra la rispondenza ai requisiti prestazionali richiesti dalla normativa vigente in termini di consumo energetico e condizioni di comfort e vivibilità, sia dal punto di vista termico che acustico.

A conclusione del capitolo si descrive come sono stati applicati i concetti di alte prestazioni energetiche nella risoluzione dei nodi tecnologici dell'edificio.

5.1 IL MODULO PREFABBRICATO: IMPLEMENTAZIONE DEI PACCHETTI TECNOLOGICI

Come spiegato nell'introduzione di questo capitolo, per la definizione delle stratigrafie che compongono i vari elementi dell'edificio, si è scelto di partire dai pacchetti tecnologici caratterizzanti il modulo prefabbricato esistente, per poi implementarlo secondo vari criteri già introdotti e di seguito meglio esposti.

Tali elementi base, sono stati scelti tra i moduli prefabbricati per cantieri prodotti dall'azienda Edilsider. Quello selezionato è il tipo " Grand Desert ", poichè, per conformazione delle varie parti e della struttura, è quello maggiormente indicato nel caso di spostamenti che ne possano sollecitare le parti; inoltre, esso parte da una stratigrafia con una buona qualità prestazionale data la sua predisposizione per climi estremi.

L'involucro di partenza, è differente tra pareti e soffitto; le chiusure verticali sono composte da una lamiera in acciaio zincato con funzione strutturale accoppiata ad un materassino in lana minerale termoisolante ed ad uno strato di finitura interna; le chiusure orizzontali superiori sono anch'esse sostenute da una lamiera e concluse con uno strato di completamento interno coibentato, quelle inferiori hanno una struttura in acciaio conclusa con vari elementi che ne ristabiliscano la continuità.

Per la successiva implementazione, si partirà dalle stratigrafie appena descritte depurate da alcune parti: Verranno mantenuti gli elementi strutturali ma verranno sostituite le parti di finitura data la funzione civile dell'edificio in cui tali pacchetti verranno utilizzati [Rif. Tav.40].

Poichè, come già detto, questi pacchetti tecnologici sono stati studiati per destinazioni d'uso temporanee ed in ambito industriale-produttivo, è necessario implementarli aggiungendo strati che consentano di renderli adatti alla funzione residenziale, che quindi richiede livelli di comfort e prestazioni costanti e durature nel tempo.

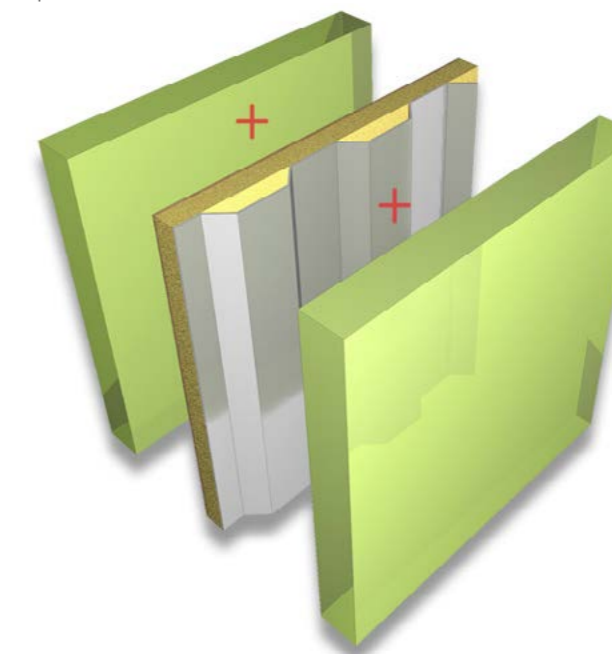


Fig.167 Stratigrafie come risultato dell'implementazione di pacchetti tecnologici esistenti.

5.1.1 COMPONIBILITA'

La prima problematica che si manifesta nel processo di implementazione, emerge nel caso delle partizioni, sia verticali che orizzontali, tra i moduli.

Nel momento in cui le singole unità vengono collocate in opera, formano un organismo edilizio unico e, quindi, quelle che inizialmente potevano essere considerate le chiusure dei vari elementi, si trasformano nelle partizioni che definiscono gli spazi abitativi.

Per ottenere tali partizioni sono possibili diverse opzioni; è possibile collocare l'intera parete o l'intero solaio su uno dei moduli che si uniranno, lasciando scoperto su alcuni lati quello adiacente; in questo caso però emerge il problema della connessione delle parti strutturali che sostengono la stratigrafia alla struttura princi-

pale dell'edificio. Per questo motivo si è scelto di comporre le partizioni in modo tale da poterne definire due parti separate, ognuna riferita ad uno dei moduli che si uniranno; in questo modo ogni pacchetto risulta già connesso alla struttura principale del singolo elemento che, combinato con gli altri, crea il sostegno per l'intero edificio. Questa scelta permette di ridurre al minimo le operazioni in cantiere e di ottenere delle unità complete in ogni loro parte con un involucro indipendente.

Un ulteriore vantaggio di questo modus operandi è anche la possibilità di definire lo spazio interno prima che venga posato in opera il modulo, dando inoltre la possibilità di predisporre anche gli elementi di arredo che non dovranno essere collocati in un momento successivo, diminuendo ulteriormente i tempi in cui l'edificio potrà iniziare a svolgere la propria funzione.

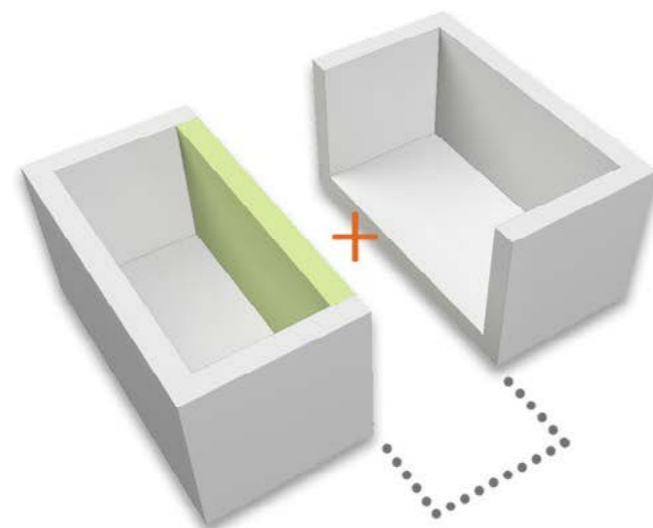


Fig.168 Opzione con partizione su un unico elemento.

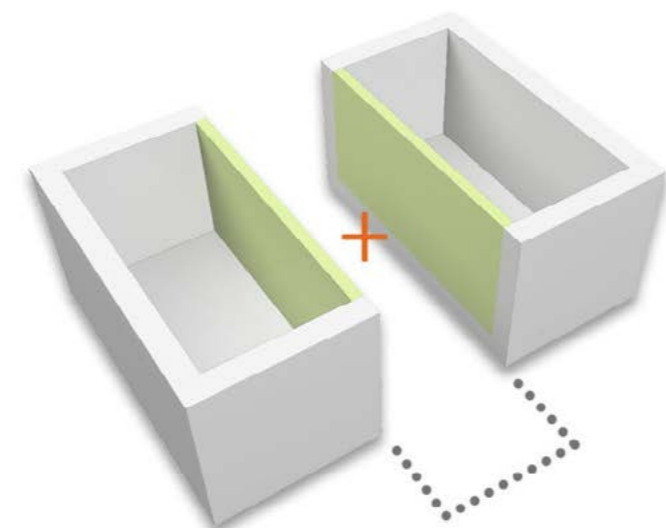


Fig.169 Opzione con partizione suddivisa tra elementi.

COMPATTEZZA E MOVIMENTAZIONE

Un'ulteriore problematica da considerare nella definizione dei pacchetti tecnologici è la possibilità di movimentarli mantenendo la compattezza di ogni parte e strato.

In generale, nella composizione delle stratigrafie, è stata posta attenzione nel mantenere sempre uno strato resistente continuo sulla superficie più esterna di ogni unità modulare poiché è quella che si interfaccia con l'esterno e che deve "contenere" tutti gli elementi successivi.

Inoltre, data la presenza di strati, in particolare di isolamento, non rigidi e senza capacità di autoconfinamento, sono presenti pannelli che ristabiliscono continuità e definiscono lo spazio occupato da tali materiali.

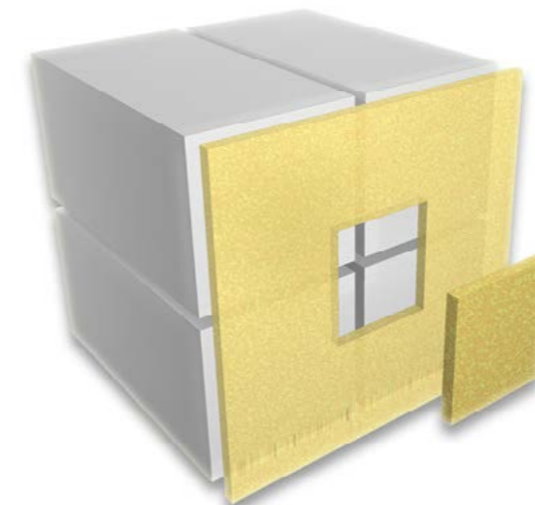


Fig.170 Continuità di isolamento ristabilita dopo la posa in opera.

5.1.2 CONTINUITA' DI ISOLAMENTO

Poiché l'edificio è composto da singole unità con involucro indipendente connesse tra loro, emerge la problematica di ristabilire continuità nell'isolamento al fine di evitare eccessive dispersioni termiche da parte dell'edificio e limitare il consumo energetico dello stesso.

In generale, per ottenere un involucro ad alte prestazioni termiche, la soluzione migliore è optare per un isolamento esterno, al fine di evitare ponti termici dati dalla presenza della struttura e di mantenere una temperatura superficiale interna costante per un'alta percezione del comfort.

Tale soluzione è quella scelta per l'edificio in oggetto ma il problema della continuità di tale isolamento emerge poiché, i singoli moduli, hanno necessità di essere giuntati strutturalmente ai quattro angoli, sia con gli elementi immediatamente superiore ed inferiore sia con quelli laterali (come spiegato nei capitoli seguenti). Questa operazione può essere effettuata soltanto dopo la collocazione in opera dei moduli ed è quindi necessario interrompere l'involucro puntualmente nella parte adiacente agli spigoli di ogni modulo.

La stratigrafia è stata studiata in modo tale che, per effettuare tale operazione, sia sufficiente eliminare solo gli strati più esterni del pacchetto di facciata, ovvero quelli di isolamento e di rivestimento. Infatti, ogni elemento prefabbricato è fornito di uno strato di continuità che delimita il profilo esterno della struttura, come se la parte di isolamento termico esterno fungesse da guscio per l'effettiva unità interna.

Si è quindi ipotizzato che questi "blocchi", che ristabiliscono continuità dell'isolamento, vengano collocati in opera dopo la posa e la giunzione dei moduli tramite operazioni semplici e ripetitive secondo spazi e dimensioni già predisposte in fase di prefabbricazione al fine di ottimizzare ulteriormente il processo costruttivo.

5.2 OTTIMIZZAZIONE DEI MATERIALI

Come precedentemente detto, la tipologia e le caratteristiche tecniche dell'edificio in esame, hanno portato allo sviluppo di problematiche derivanti dai vari ambiti di progettazione tra loro interconnessi.

Questi temi, sono alla base della composizione delle stratigrafie come risultato di un processo di ottimizzazione e conciliazione tra i vari limiti e le prestazioni attese.

Le sfere principali di analisi, su cui è stata posta attenzione, sono relative all'ergo-tecnica e alle prestazioni, senza dimenticare la sostenibilità ambientale, non solo dal punto di vista della creazione di un organismo edilizio a basse emissioni, ma anche a partire dai materiali e dal ciclo di vita a cui sono sottoposti.

5.2.1 LEGGEREZZA

Il requisito di leggerezza, di cui tratta questo paragrafo, è legato all'ambito ergo-tecnico relativo alla movimentazione e al trasporto dei moduli. Essi, infatti, giungendo in cantiere pressochè completi, devono mantenere un peso limitato dati i vincoli dei mezzi che li porteranno nel luogo di posa. Inoltre, anche gli strumenti di movimentazione in cantiere, possono spostare solo determinati carichi. In generale, l'aumento del peso corrisponde a mezzi di dimensioni maggiori e quindi ad un'incidenza economica della parte di posa in opera notevole.

La scelta dalla tecnologia S/R è vantaggiosa dal punto di vista del peso, ed è quindi

un buon punto di partenza per il successivo processo di ottimizzazione.

Infatti, rispetto a sistemi blocco su blocco o cassero-riempimento di tipo tradizionale, con questa tecnologia è possibile ridurre il peso di un pacchetto fino ad 1/10.

Nelle stratigrafie elaborate seguendo questa filosofia, si può notare come la maggior parte degli strati siano di tipo isolante. Ciò è vantaggioso dal punto di vista delle dispersioni in fase invernale ma non del surriscaldamento in fase estiva poichè, avendo una massa minore rispetto per esempio ad una parete di calcestruzzo o a blocchi in laterizio, questi materiali hanno un'inerzia termica minore ritardando limitatamente il flusso di calore.

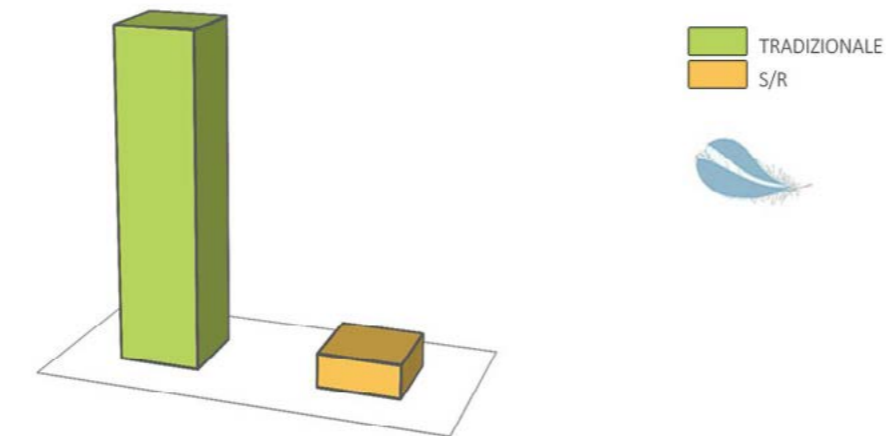


Fig.171 Confronto del peso di diverse tecnologie costruttive.

Poichè l'inerzia termica è proporzionale alla densità e inversamente proporzionale alla conducibilità, un'esempio di ottimizzazione riguarda appunto il rapporto peso-prestazioni estive.

La capacità termica è la grandezza che può esprimere l'inerzia termica di un materiale. Essa è la quantità di calore necessaria per far variare di 1°C la sua temperatura.

Confrontando tre materiali, calcestruzzo, lana di legno e poliuretano, considerandoli con un volume unitario, si nota come l'ultimo, più prestazionale dal punto di vista di conducibilità e peso, ha le prestazioni peggiori in fase estiva, mentre il primo risulta problematico in senso contrario. Per le esigenze del progetto, risulta quindi conveniente utilizzare un rivestimento esterno in lana di legno mineralizzata, la quale ha una conducibilità bassa e allo stesso tempo garantisce una buona inerzia termica nei mesi più caldi.

Quello appena presentato è un esempio di come siano stati considerati diversi aspetti di ogni materiale nell'elaborazione delle stratigrafie, raggiungendo così una soluzione finale ottimizzata a livello globale che trova poi conferma nelle verifiche prestazionali successivamente riportate.

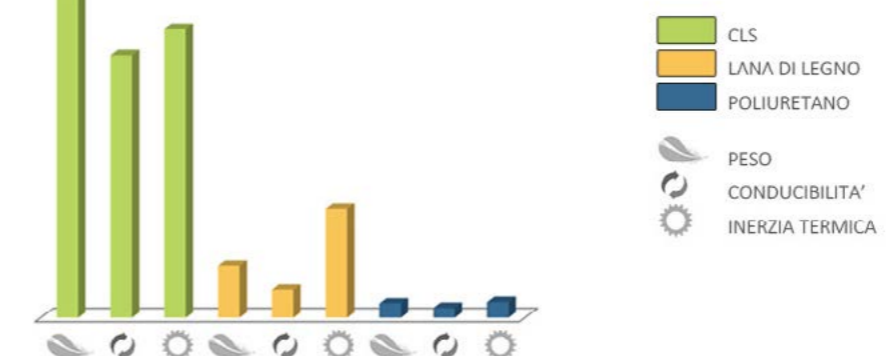


Fig.172 Confronto tra peso, conducibilità ed inerzia termica tra diversi materiali.

5.2.2 SOSTENIBILITA' E PRESTAZIONI

Oltre che dal punto di vista prestazionale, è stata posta attenzione anche alla sostenibilità dei singoli materiali.

L'edificio, infatti, è un organismo che impatta sull'ambiente durante tutto il periodo di funzionamento a causa della richiesta di energia per mantenere le condizioni di comfort richieste dai suoi utenti. Per questo motivo è necessario fornire al costruito le prestazioni che permettano di ridurre al minimo questa necessità di energia tramite materiali scelti minuziosamente e oculatamente.

E' però importante considerare non solo l'influenza dell'edificio sull'ambiente durante il suo utilizzo, ma bisogna ponderare anche come si comportano i materiali utilizzati per la sua costruzione durante il loro ciclo di vita; si consideri per esempio la riciclabilità, la riutilizzabilità e la possibilità di smaltimento dei vari elementi, o addirittura l'introduzione di materie provenienti esse stesse dalla fine del ciclo di vita di un'altro edificio.

Per quanto riguarda il concetto di riutilizzabilità, esso si sposa bene con la tecnologia S/R che, essendo basata sulla composizione di stati connessi tra loro, permette di smontare le varie parti senza apportarvi eccessivi danni. Uno dei materiali fortemente presenti all'interno dell'edificio è l'acciaio, soprattutto negli elementi con funzione strutturale. L'acciaio è riciclabile al 100% e per un numero di cicli pressochè infinito senza che perda di qualità. Il tasso di riciclo è molto elevato per l'acciaio e nelle costruzioni, per esempio, esso raggiunge livelli particolarmente elevati: 98% per le travi, 65-70% per le barre d'armatura.

Un altro materiale fortemente usato in questa tecnologia è il cartongesso; tramite macchinari appositi è possibile dividere la parte di cartone e la parte di gesso. Una volta separati, il primo si può trasformare in nuovi prodotti a base di carta riciclata, il secondo in malte per edilizia, cemento o altri manufatti in gesso.

Un'attenzione particolare è stata data ai materiali isolanti; essi sono stati scelti in base ad un'ottimizzazione tra prestazione, sostenibilità e durabilità.

Per questo tipo di prodotto esistono due categorie principali: gli isolanti naturali e quelli derivanti dalla lavorazione del petrolio. In generale i secondi sono molto più prestazionali e meno deperibili rispetto a quelli del tutto provenienti dalla natura ma derivano da un ciclo di produzione maggiormente inquinante.

Per questo si è scelto di utilizzare il poliuretano per le parti che, dato il loro grande spessore senza lo strato di isolamento, potevano essere integrate con un unico strato per raggiungere i requisiti termici richiesti; un esempio è il vano scale che, essendo interamente in calcestruzzo, necessitava un involucro ad alta prestazione.

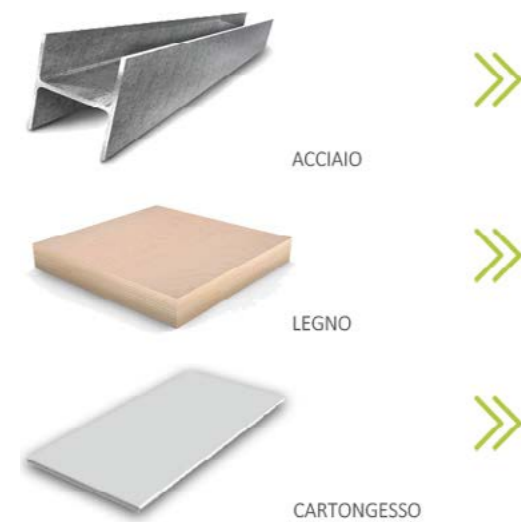


Fig.173 Alcuni materiali riciclabili utilizzati nel progetto.

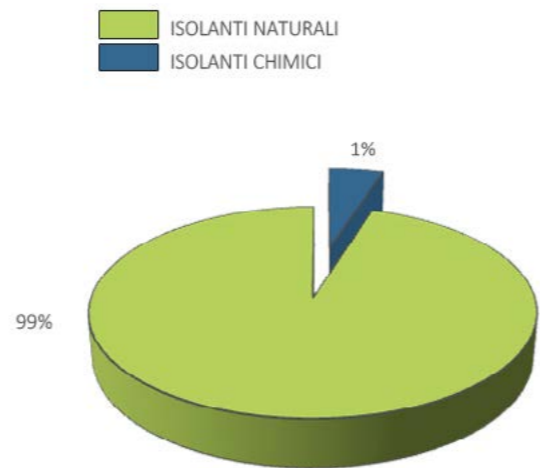
Le rimanenti chiusure dell'edificio, come già detto, sono caratterizzate da un'isolamento esterno in lana di legno mineralizzata che impiega legname proviene da foreste gestite in maniera sostenibile ed in parte da residui di materiale riciclato.

Gli isolanti morbidi utilizzati sono invece lana minerale, lana di pecora e fibra vegetale i quali derivano da elementi naturali, che trattati con sostanze protettive li rendono oltre che sostenibili anche durevoli.

Infine, per quanto riguarda le parti in legno, coerentemente con gli altri componenti dell'edificio, sono tratti anch'essi da foreste ad utilizzo sostenibile ed oltre che essere interamente riutilizzati possono essere riciclati per la creazione di carta, cartone, pannelli compositi o bruciati per la produzione di energia.

Tab.20 Tipi di isolante.

ISOLANTI NATURALI	
Lana di legno	
Lana minerale	
Lana di pecora	
Fibra vegetale	
ISOLANTI CHIMICI	
Poliuretano	
Polistirene	



Graf.12 Percentuale di isolanti naturali o chimici utilizzati all'interno dell'edificio.

5.3 VERIFICHE PRESTAZIONALI

Dopo avere definito le stratigrafie secondo i criteri precedentemente descritti, sono state effettuate le verifiche delle prestazioni dei vari pacchetti tramite diversi software, al fine di dimostrare che gli stessi risultino coerenti con i requisiti prescritti dalla normativa.

5.3.1 PRESTAZIONI TERMICHE

Le prestazioni termiche dell'involucro sono molto importanti per limitare il consumo energetico dell'edificio. Infatti, prima di attuare strategie impiantistiche attive come pannelli solari e fotovoltaici, è necessario controllare i flussi di calore che entrano ed escono dall'edificio poichè essi rappresentano il principale criterio per controllare i livelli di comfort.

Per ogni stratigrafia sono stati calcolati diversi parametri per ottenere informazioni sulle prestazioni dell'elemento tecnologico.

La prima grandezza considerata è la trasmittanza U che misura la quantità di calore scambiato e definisce la capacità di un elemento di opporsi allo scambio di calore tra ambienti a temperature differenti. Essa si misura in W/m^2K ed è inversamente proporzionale alla resistenza termica dello stesso. La trasmittanza rappresenta quindi il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta ad una differenza di temperatura unitaria.

La trasmittanza si calcola con:
$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

Dove:

$1/\alpha_i$ è resistenza liminare della superficie interna della struttura;

$\sum s/\lambda$ è la somma delle resistenze termiche dei vari strati strati di materiale omogeneo dove s è lo spessore del singolo strato e λ è la conducibilità del materiale;

$1/\alpha_e$ è resistenza liminare della superficie esterna della struttura;

C è la conduttanza unitaria dell'eventuale intercapedine d'aria.

Il DL 192/2005 e il DL 311/2006, forniscono i valori limiti di trasmittanza con cui confrontare quelle calcolate tramite software e, nel caso di Milano, che si trova in fascia climatica E, deve avere trasmittanze minori di quelle riportate in tabella:

Tab.21 Trasmittanza limite da normativa.

U _{LIM} [W/m ² K]		
PARETI	COPERTURE	PAVIMENTI
0,34	0,30	0,33

La trasmittanza è interessante perchè si riferisce alle dispersioni, in particolare della fase invernale.

Per quanto riguarda la fase estiva, sono state considerate le grandezze di attenuazione, sfasamento e capacità termica areica interna ed esterna.

Queste grandezze sono fondamentali per la definizione dell'inerzia termica di un elemento, molto importante nel periodo estivo per aumentare il comfort.

Una buona progettazione vuole ottenere una traslazione del momento in cui il

calore entra all'interno dell'ambiente il più lontano possibile nel tempo dal picco di temperatura dell'aria esterna. Questa traslazione dell'onda termica è rappresentata dallo sfasamento, che deve risultare maggiore o uguale alle 10-12 ore, per avere una dispersione del calore all'interno degli ambienti durante la notte, ovvero quando la temperatura dell'aria esterna si è ormai abbassata e può asportare il calore dall'elemento edilizio, "scaricandolo" prima che la temperatura aumenti di nuovo.

Un elemento con una buona inerzia termica, inoltre, ha la capacità di attenuare l'intensità dell'onda termica; a tal proposito, un valore di buona prestazione è di 0,15. La capacità termica areica, infine, rappresenta la capacità di un componente edilizio di accumulare i carichi termici provenienti dall'interno o dall'esterno ed è appunto suddivisa in entrambe le grandezze. Il buon funzionamento dell'elemento in fase estiva è direttamente proporzionale all'aumento di tale capacità. I valori ricavati ed i grafici ad essi riferiti [Rif. da Tavola 20 a 28], sono stati calcolati per le stratigrafie ottenute come risultato delle strategie di ottimizzazione fin qui spiegate, al fine di avere una verifica delle loro prestazioni.

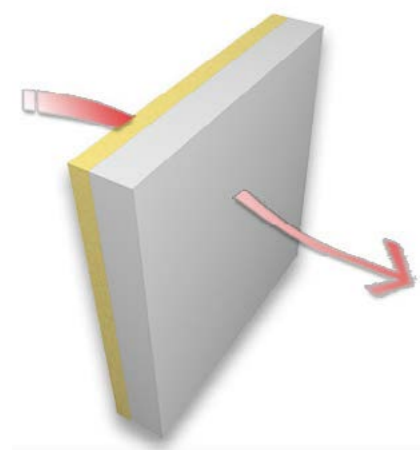


Fig.174 Trasmissanza e inerzia termica.

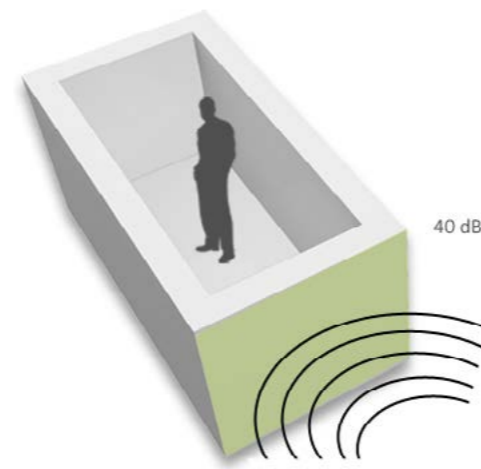
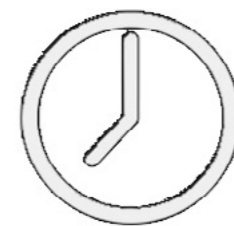


Fig.175 Potere fonoisolante di facciata.

5.3.2 PRESTAZIONI ACUSTICHE

Data la funzione dell'edificio in esame, si è ritenuto opportuno verificarne le prestazioni acustiche. Essendo una residenza per studenti, è probabile che più utenti tra loro estranei, condividano la stessa unità abitativa. Per questo è importante garantire la privacy, anche dal punto di vista acustico degli spazi privati, quali le singole camere da letto, come anche quelli di spazi adiacenti con funzione distinta.

Nel presente paragrafo vengono presentate le verifiche acustiche, effettuate mediante software, di tutti gli elementi ritenuti rilevanti.

In particolare, si fa riferimento ai valori ed alle grandezze fornite dal *DM 23/2007, Allegato B*.

Il primo parametro da verificare è l'isolamento acustico di facciata che esprime quanto gli ambienti interni, siano protetti acusticamente nei confronti dei rumori aerei esterni. La chiusura risulta verificata se $D_{2m,nT,w}$ (dB) > 40.

La seconda grandezza da verificare è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente che esprime la capacità dei componenti edilizi interni che separano due ambienti, di opporsi alla trasmissione dei rumori aerei. Il valore di R'_w (dB) si differenzia a seconda dei casi:

- pareti tra unità ambientali distinte e solai: R'_w (dB) > 50;
- pareti interne alla stessa unità ambientale: R'_w (dB) > 40;
- pareti interne alla stessa unità ambientale: R'_w (dB) > 30.

Viene quindi stimato l'indice di valutazione del livello di rumore impattivo normalizzato che esprime la protezione acustica verso i rumori di tipo impattivo provenienti da ambienti posti sopra quello esaminato. Questo aspetto si riferisce in particolare al calpestio e deve valere $L_{n,w}$ > 58. Per ottenere buone prestazioni in questo ambito, è stato introdotto nei solai un materassino termo acustico per desolidarizzare la parte superiore del solaio ed attutire i rumori ad esso connessi.



unità ambientali distinte 50 dB
 stessa unità ambientale 40 dB
 stessa unità ambientale 30 dB

Fig.176 Potere fonoisolante apparente

In generale, utilizzando una tecnologia S/R, poichè i pacchetti sono leggeri e quindi non dotati di massa, l'isolamento acustico è basato sul sistema di smorzamento "massa-molla-massa": la lastre esterne oscillano a causa delle onde sonore e l'aria posta tra di esse smorza tali oscillazioni, come una molla, e l'isolante morbido funge da fonoassorbente attenuando la trasmissione acustica.

Il vantaggio di un sistema stratificato è l'alternanza di materiali con densità differenti che rispondono a frequenze d'onda differenti. E' inoltre importante risolvere i nodi di connessione tra elementi orizzontali e verticali al fine di ottenere un isolamento acustico efficace tra le unità.

I valori di verifica sono riportati a conclusione de capitolo [Rif. Figura 178 e 179].

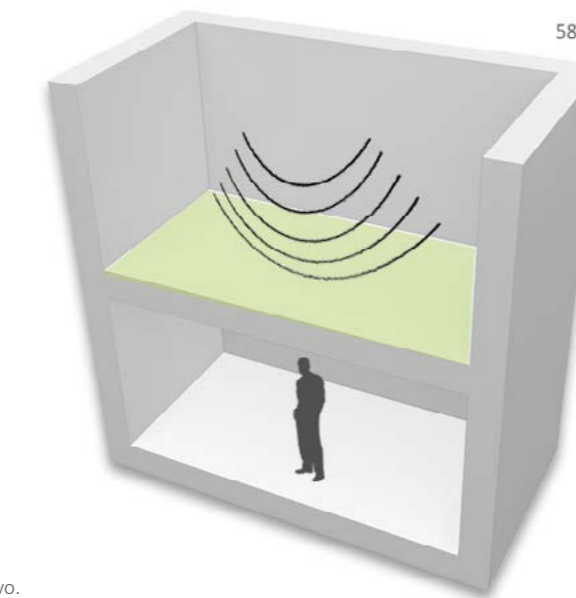


Fig.177 Il rumore impattivo.

C.O.01_COPERTURA CONTAINER

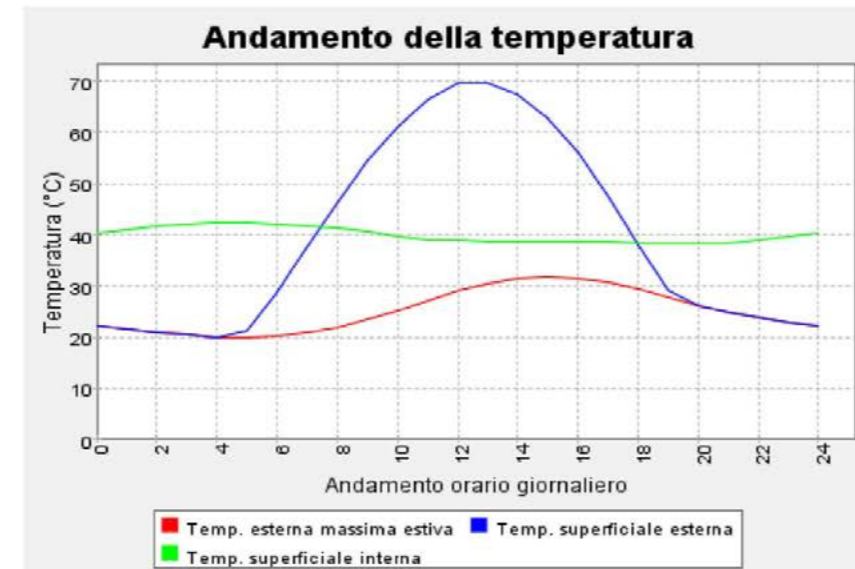
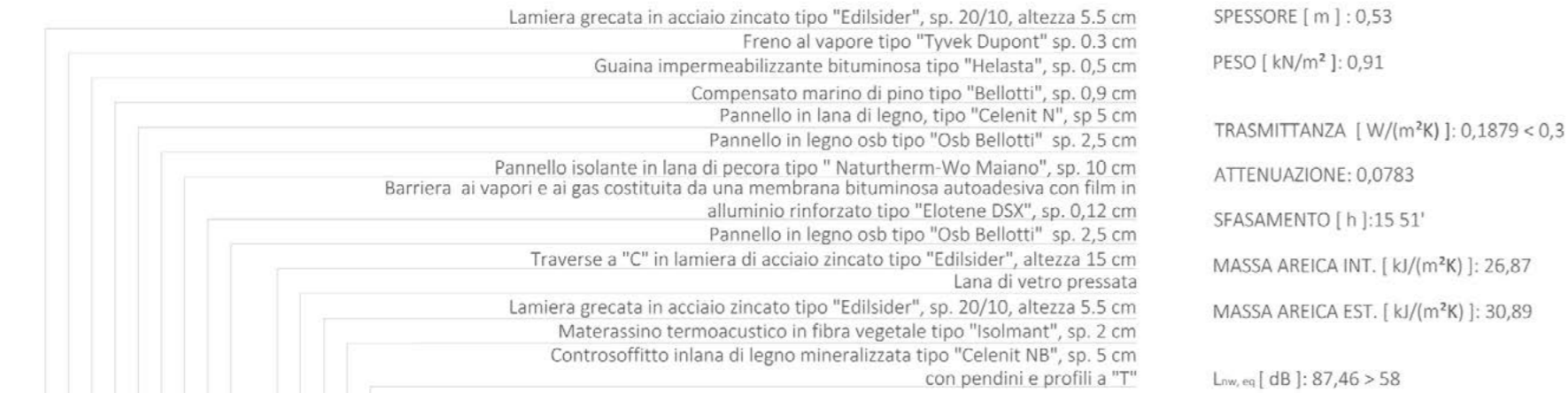


Fig.178 Esempio di pacchetto tecnologico.

C.V.01_CHIUSURA ESTERNA CONTAINER

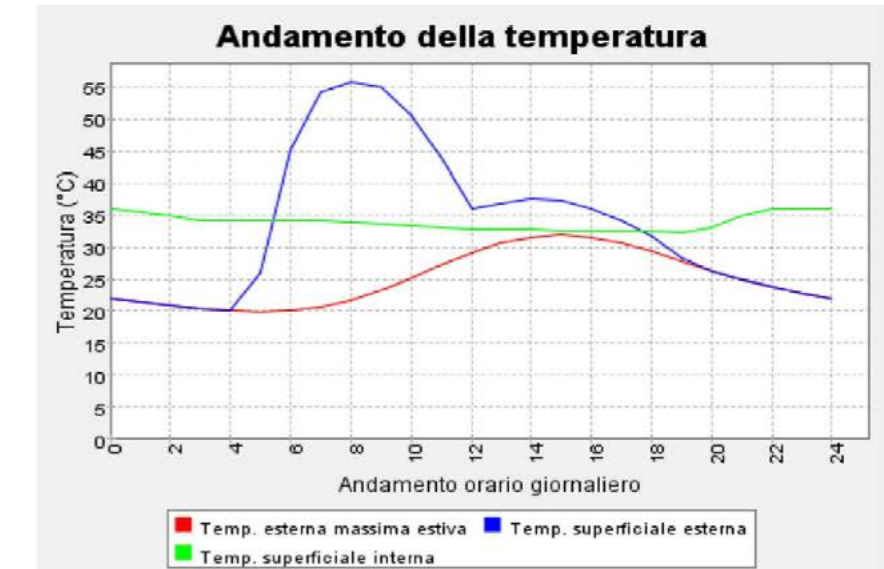
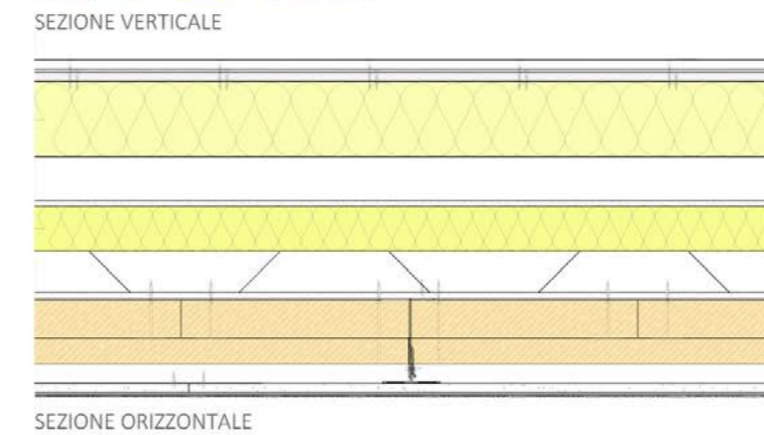
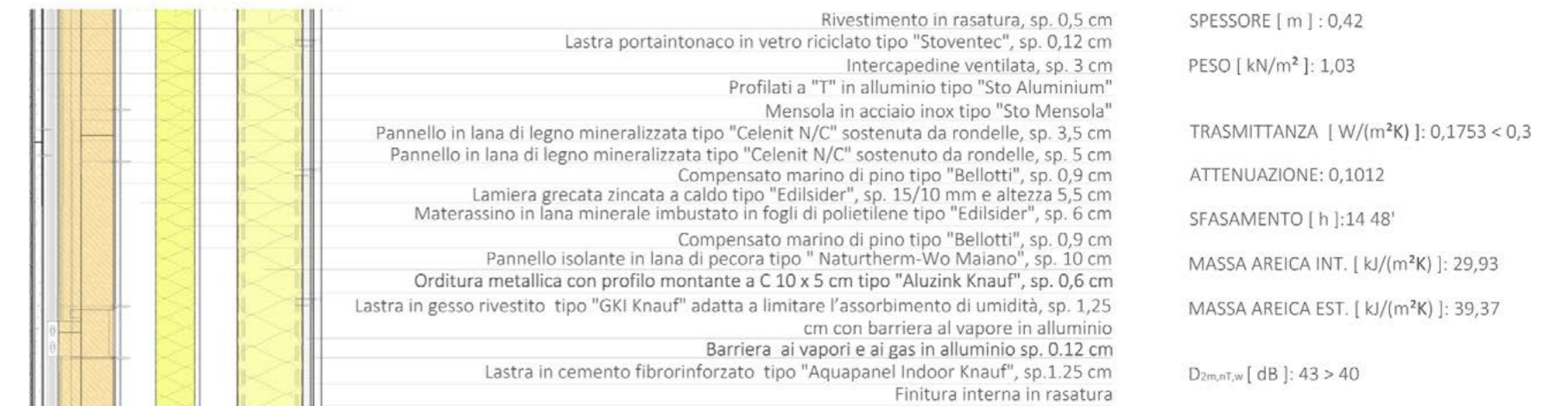


Fig.179 Esempio di pacchetto tecnologico.

5.4 DETTAGLI TECNOLOGICI

L'organismo edilizio è composto essenzialmente da un'entità architettonica e da un'entità tecnologica. Un progetto che guarda all'efficienza energetica deve obbligatoriamente considerare gli aspetti tecnologici-prestazionali dell'involucro e di tutte le sue componenti. Questi fattori infatti rivestono un ruolo importante nella determinazione del comportamento dell'edificio, nella sua capacità di garantire il comfort interno e di contenere l'energia spesa.

In questa sede verranno approfonditi gli aspetti legati alla corretta connessione degli elementi tecnologici, precedentemente definiti, e a possibili punti di discontinuità geometrica presenti all'interno dell'edificio.

Il progetto è stato sviscerato fino all'analisi dell'articolazione complessiva dei suoi componenti, proponendo alcune delle possibili soluzioni per le loro connessioni. Pertanto all'interno della trattazione sono stati inseriti gli elaborati che mostrano la relazione tra le scelte architettoniche e le loro implicazioni tecnologiche. Vengono rappresentati gli studi di dettaglio dei punti di connessione per verificare la presenza di ponti termici. Le scelte sono state guidate dalla risoluzione degli stessi e delle discontinuità geometriche, poiché tali fattori concorrono in maniera incisiva all'efficienza energetica dell'involucro [Rif. da Tavola 30 a 39].

Le scelte tecnologiche, così come quelle compositive, sono fortemente subordinate alla logica strutturale dei moduli prefabbricati tipo container. Il comportamento termico dell'edificio è stato il fattore che maggiormente si è dovuto interfacciare con la logica costruttiva dei moduli ed ha pertanto influito nella determinazione di precise scelte tecnologiche. Infatti una progettazione efficiente mira a prevenire la formazione di ponti termici e tale fattore diventa tanto più

rilevante quanto più si pone attenzione nella progettazione di un involucro ad alte prestazioni energetiche. La prevenzione dei ponti termici permette, oltre a limitare il più possibile le dispersioni di calore, di eliminare la formazione di condensa e muffe, che possono compromettere le prestazioni sia energetiche, sia costruttive e funzionali degli elementi tecnologici. Per queste ragioni si presenta la necessità di progettare non solo elementi tecnologici di involucro ad alte prestazioni ma anche di curare il dettaglio, al fine di contenere le energie e le risorse da impiegare.

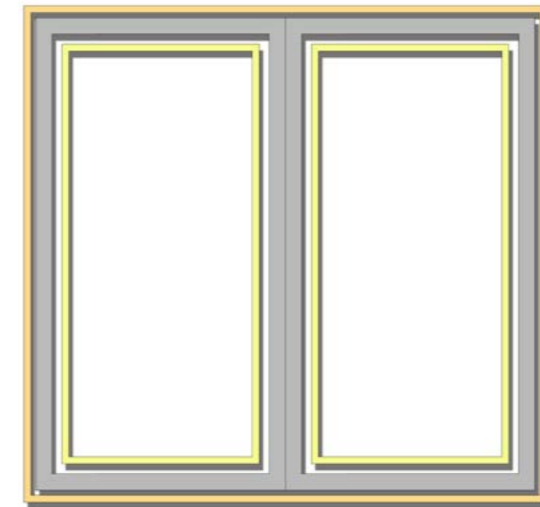


Fig.180 Continuità dell'isolamento termico tra moduli.

Per gli elementi strutturali raffigurati nelle rappresentazioni di dettaglio si rimanda alla progettazione strutturale [Rif. Paragrafo 7.8], nella cui trattazione vengono spiegati con maggiore approfondimento.

Altri importanti parametri che sono stati considerati, in funzione dei principali requisiti che si richiede di soddisfare alle diverse componenti tecnologiche che formano l'involucro, sono la tenuta all'acqua e l'isolamento acustico.

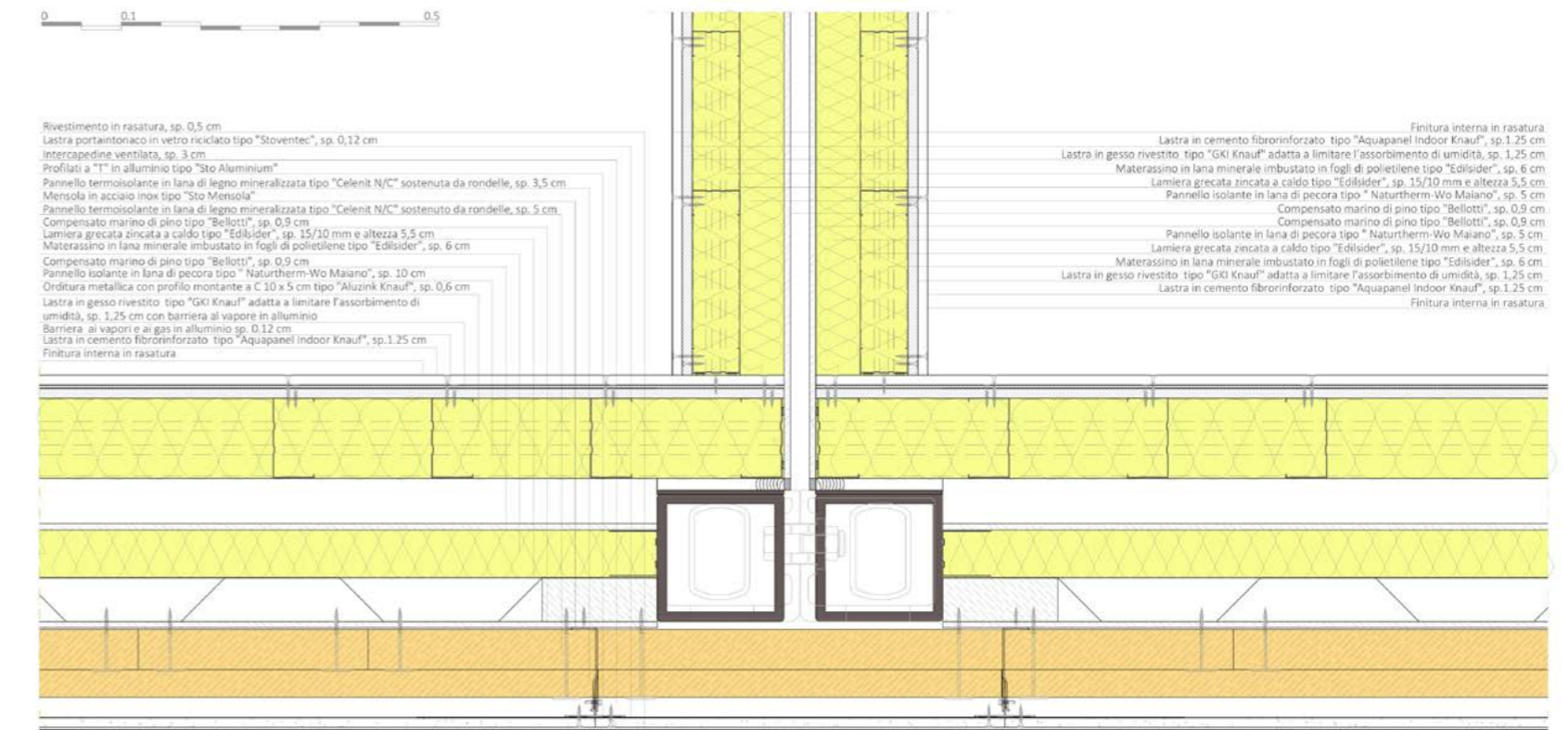


Fig.181 Nodo orizzontale dell'unione tra moduli.

Tale problematica è stata risolta facendo risvoltare lungo tutto il perimetro dell'elemento uno strato continuo impermeabilizzante [Rif. Figura 182].

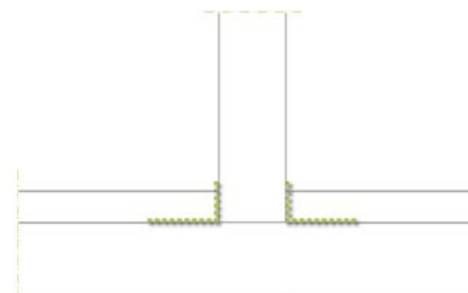


Fig.182 Continuità dell'isolamento acustico.

Per quanto riguarda gli elementi divisori delle differenti unità abitative è stata posta particolare attenzione ai requisiti di isolamento acustico. Infatti, al fine di evitare la trasmissione dell'onda sonora tra un ambiente e l'altro, lo strato di isolamento acustico, opportunamente predisposto nelle componenti tecnologiche orizzontali, è stato fatto fatto risvoltare in parte lungo la parete [Rif. Figura 183].

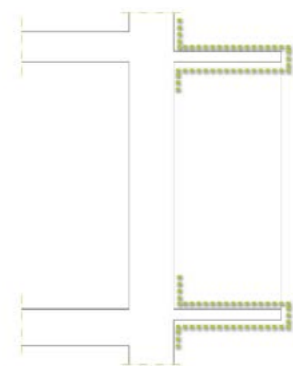


Fig.183 Continuità dello strato impermeabilizzante.

Un'altra problematica emersa nell'analisi di dettaglio dei punti di connessione è stato il ripristino della continuità strutturale, ma anche delle componenti tecnologiche che costituiscono l'involucro dell'edificio, nel punto di passaggio tra la tecnologia costruttiva in calcestruzzo armato e quella dei moduli in acciaio. Tale connessione è stata risolta, senza giungere a compromessi in termini di abitabilità e di prestazioni dell'involucro edilizio, grazie ad un attento studio, in fase di progettazione delle stratigrafie, degli spessori dei materiali che compongono le differenti stratigrafie di involucro [Rif. Figura 184].

Come già precedentemente spiegato, l'edificio è composto da singoli moduli connessi tra loro. Il fissaggio di detti moduli avviene in fase di posa in opera, mediante dispositivi di accoppiamento, sia verticali che orizzontali, posti ai quattro angoli del modulo.

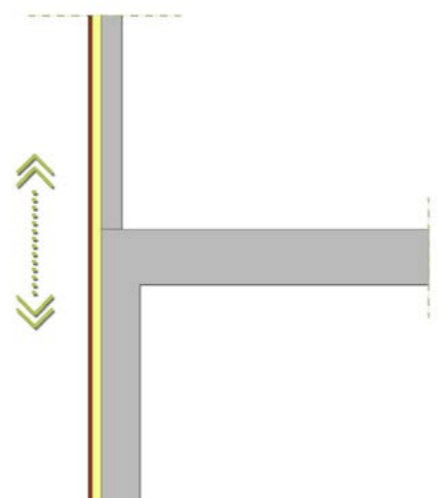


Fig.184 Continuità dell'involucro edilizio in corrispondenza della variazione di tecnologia.

Per come sono state definite le componenti tecnologiche dell'edificio, emerge la questione di ristabilire la continuità dello strato di isolamento e della struttura di rivestimento esterno, ai quattro vertici del modulo. Tale problematica è stata risolta predisponendo in fase di realizzazione in stabilimento, dei vuoti in corrispondenza degli elementi di fissaggio, di dimensioni determinate e prestabilite.

La discontinuità viene poi ripristinata, in fase di posa in opera, introducendo in detti vuoti i rispettivi strati di isolamento termico e rivestimento esterno. I sistemi di fissaggio degli strati per questi punti di connessione non subiscono variazioni, dunque le operazioni da effettuare nella fase di cantiere risultano comunque agili e ottimizzate [Rif. Figura 185].

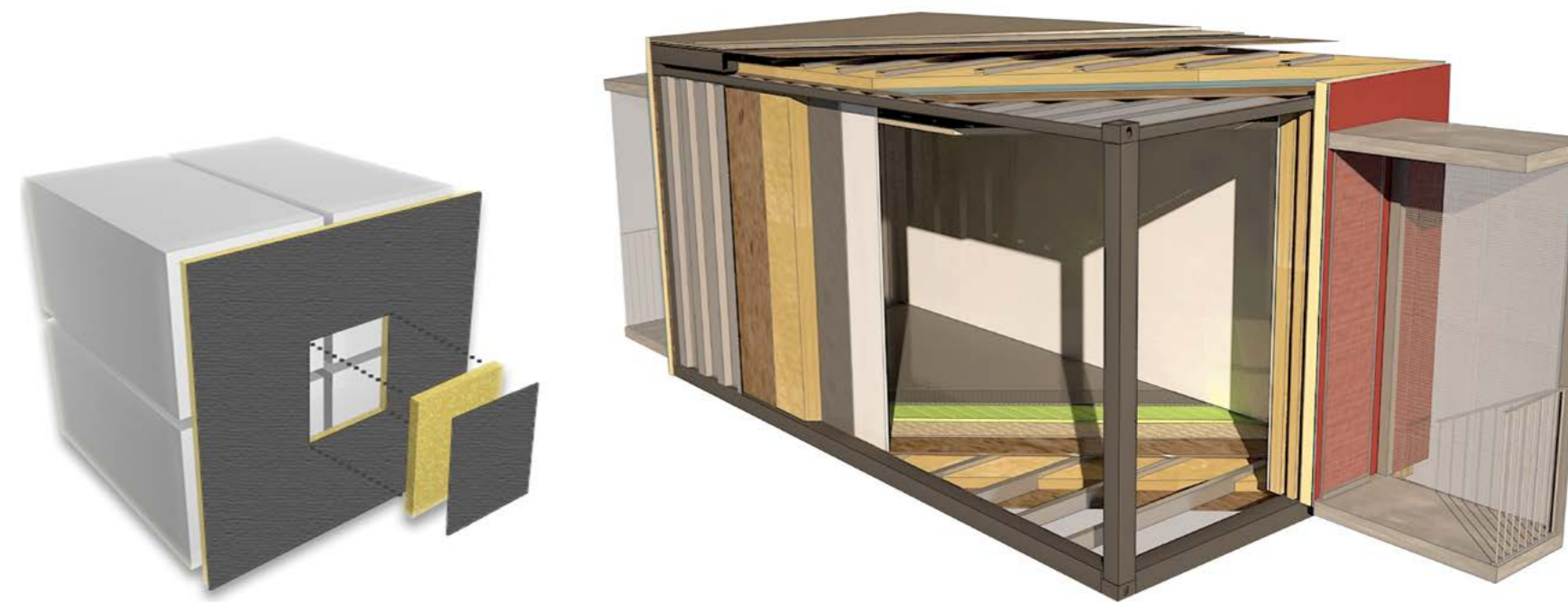


Fig.185 Ripristino della continuità delle componenti tecnologiche nei punti di fissaggio ed esplosione tecnologico di un modulo prefabbricato. [Rif. Tav.40]

06

PROGETTAZIONE ENERGETICA

6.1 ANALISI ENERGETICA DINAMICA

- 6.1.1 Verifica dell'involucro
- 6.1.2 Elementi di oscuramento e captazione solare
- 6.1.3 Guadagni interni gratuiti e pre-trattamento dell'aria

6.2 ANALISI PRELIMINARI ILLUMINOTECNICHE

- 6.2.1 Analisi dell'ombreggiamento
- 6.2.2 Verifica degli elementi frangisole
- 6.2.3 Fattore di luce diurna ed illuminamento

6.3 SOLUZIONI IMPIANTISTICHE

- 6.3.1 Il concept impiantistico
- 6.3.2 Il sistema di distribuzione
- 6.3.3 Impianto solare termico
- 6.3.4 Impianto fotovoltaico
- 6.3.5 Acqua calda sanitaria

6.3.6 Fabbisogno termico

6.3.7 Pannelli radianti

6.3.8 Impianto ad aria

6.3.9 Pompa di calore

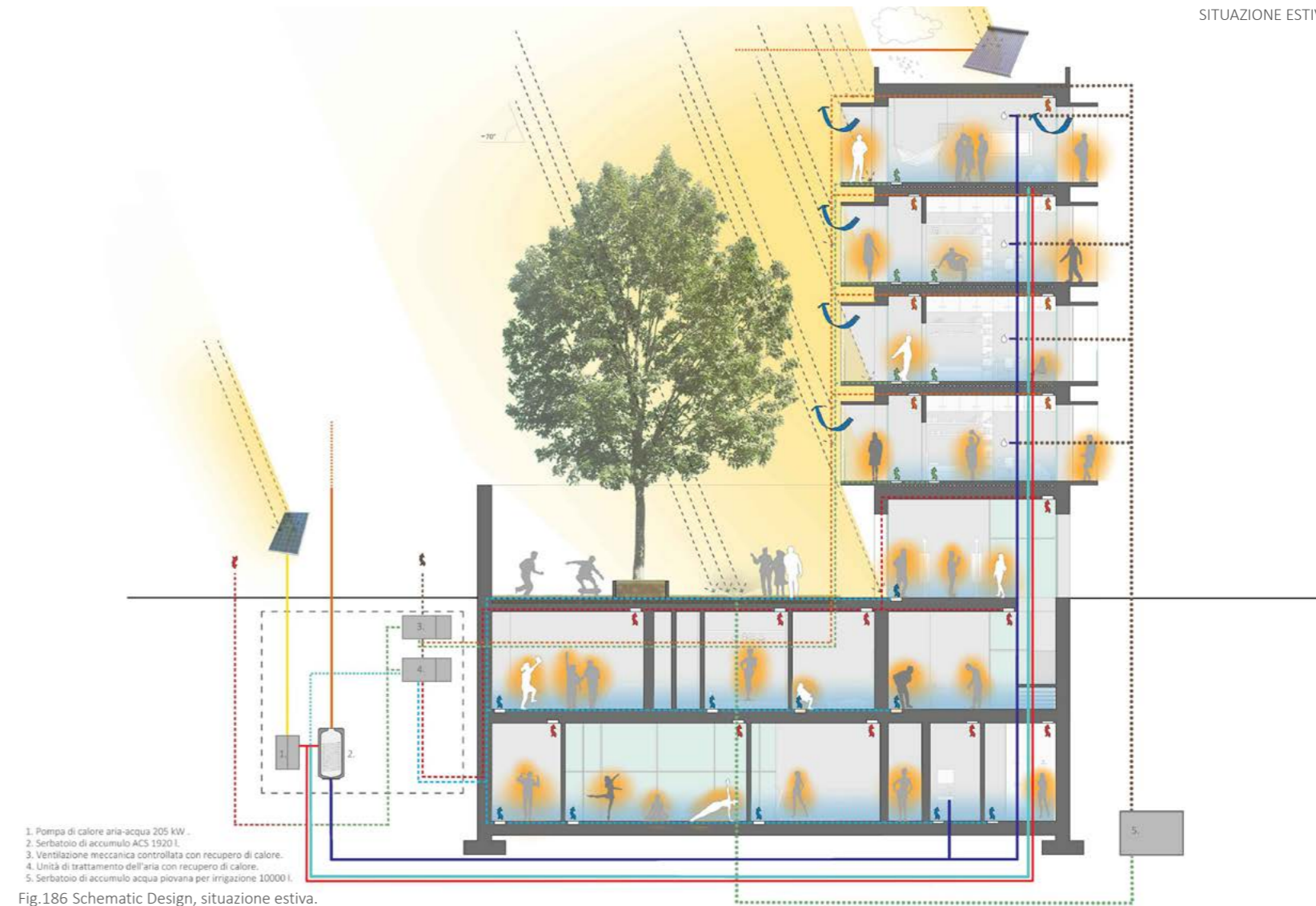
6.4 CERTIFICAZIONE ENERGETICA: CENED

Nel presente capitolo s'implementa la verifica del rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente in termini di risparmio energetico, mediante un'analisi in regime dinamico. Questo tipo di indagine è stata condotta utilizzando il software di simulazione dinamica "Trnsys". L'analisi viene eseguita attraverso lo studio delle condizioni termo-igrometriche all'interno di ogni singolo alloggio. Nella prima fase è stata valutata l'efficacia dell'involucro. Nel seguito si è proceduto alla valutazione del contributo conferito dalle cornici, dalle serre e dai frangisole. In questo modo è stato possibile dimostrare la validità delle scelte architettoniche, anche a livello energetico. In ultima analisi è stato valutato l'apporto del pre-trattamento geotermico dell'aria da immettere in ambiente e quello dovuto ai carichi interni, al fine di valutare l'influenza di soluzioni passive sull'alloggio.

Nella seconda parte del capitolo si entra nel merito delle scelte impiantistiche fatte. Si propone inizialmente il concept impiantistico, attraverso il quale s'inquadrano le scelte di sostenibilità energetica dell'edificio. Si procede poi con un predimensionamento dei seguenti elementi: serbatoio di acqua calda sanitaria, impianto solare termico, sistema radiante per riscaldamento e raffrescamento, pompa di calore, ventilazione meccanica controllata e unità di trattamento aria, impianto fotovoltaico e pompa di calore.

Il capitolo si conclude con la spiegazione di come la rete impiantistica s'interfaccia con la tecnologia prefabbricata e con la dimostrazione del raggiungimento delle alte prestazioni richieste attraverso la certificazione energetica.

Di seguito si riportano gli schemi del funzionamento energetico dell'edificio in fase invernale ed in fase estiva, al fine di avere una visione globale del funzionamento stagionale del progetto.



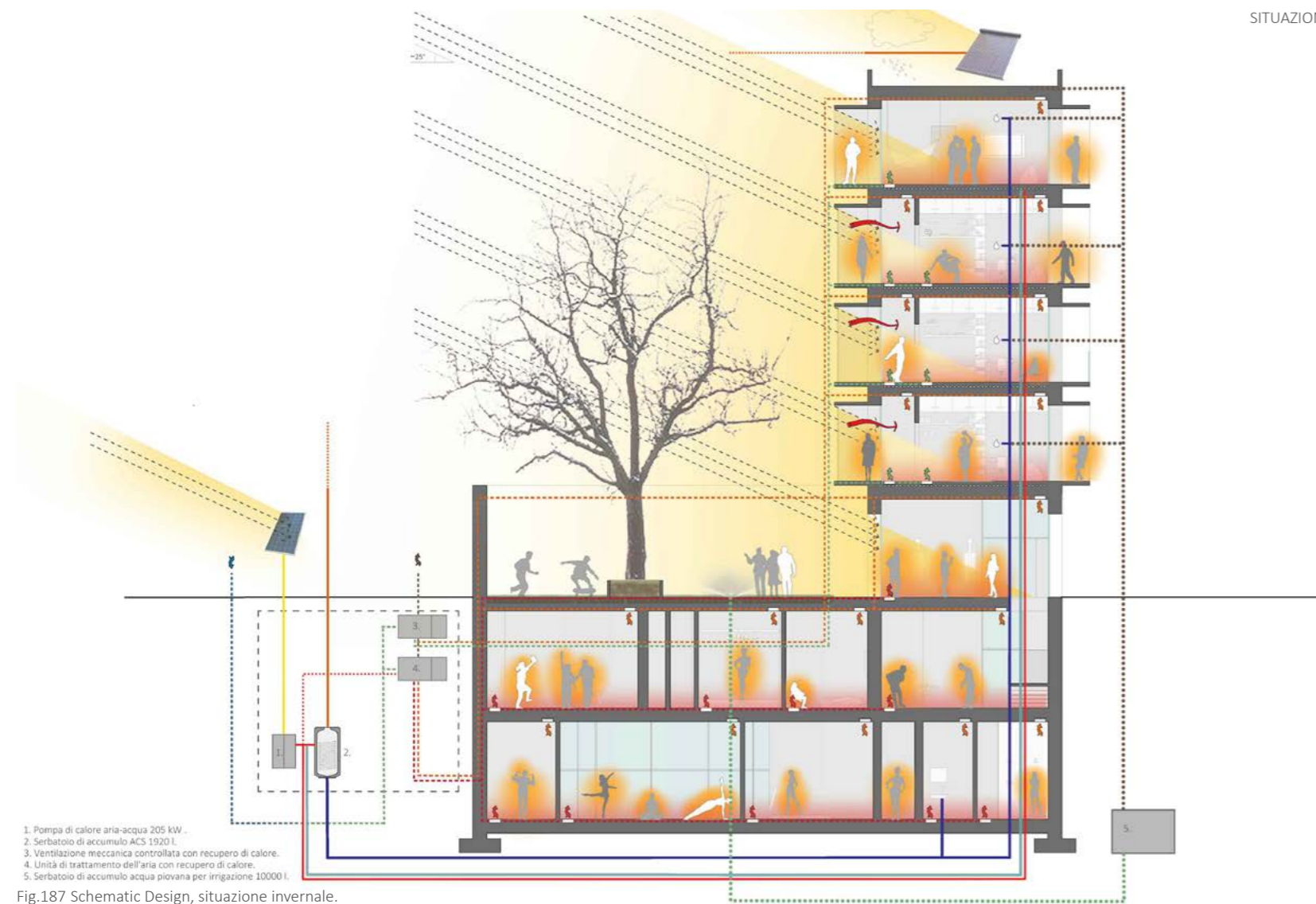


Fig.187 Schematic Design, situazione invernale.

6.1 ANALISI ENERGETICA DINAMICA

Le analisi in regime dinamico sono state condotte con l'ausilio del software Trnsys, il quale esegue ogni simulazione sulla base di un modello tridimensionale realizzato mediante un plug-in del programma SketchUp, all'interno del quale i differenti alloggi residenziali sono stati concepiti come "zone termiche" indipendenti. La zona termica è lo spazio rispetto al quale vengono condotte le analisi. Ad ogni zona sono associate le proprietà tecnologiche definite da progetto: chiusure, partizioni e caratteristiche dei serramenti.

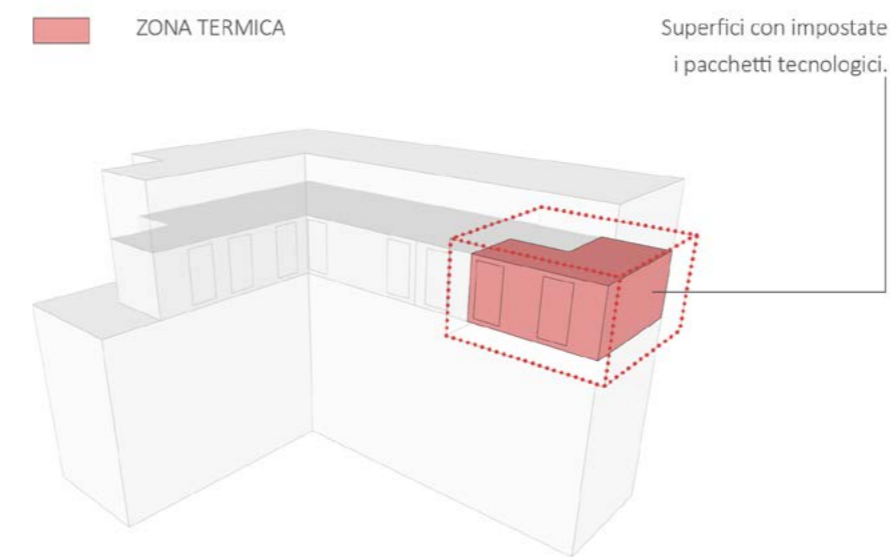


Fig.188 Individuazione della zona termica all'interno del modello di simulazione.

Dalle indagini illuminotecniche [Rif. Paragrafo 6.2] e dalla considerazione delle condizioni al contorno (rapporto s/v , orientamento, esposizione ..), si è scelto di analizzare gli alloggi che compongono il livello +3. Escludendo infatti l'ultimo piano, poiché composto anche da spazi ad uso comune, il terzo piano si configura come la scelta migliore per eseguire analisi energetiche in regime dinamico. Il livello +3 racchiude cinque alloggi e il corpo scale. Di questi si analizzano i quattro mostrati in figura: due doppi disposti lungo il corpo rivolto su Via Palermo e due singoli collocati lungo il corpo ad esso ortogonale .

Tab.22 Caratteristiche degli alloggi analizzati.

Alloggio	Superficie	Volume	Superficie verso esterno	Rapporto S/V	Esposizione
1	61.07	183.21	82.23	0.45	Nord-sud- ovest
2	61.07	183.21	51.00	0.28	Nord- est
3	35.70	107.1	36.00	0.34	Est-ovest
4	35.70	107.1	48.00	0.45	Est-ovest-sud

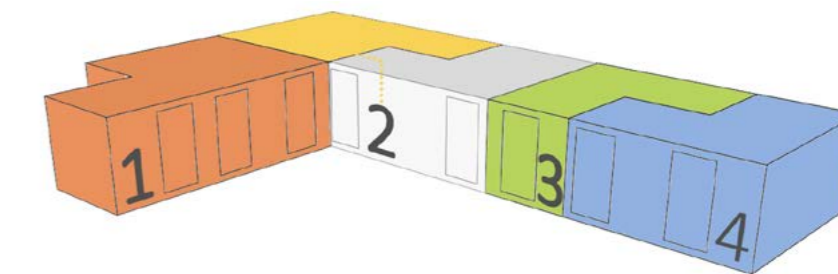


Fig.189 Appartamenti analizzati all'interno del 3 livello dell'edificio.

Nel seguente capitolo si propongono in successione una serie di analisi, applicate a modelli differenti con parametri che variano a seconda di quanto si è voluto analizzare. Per chiarire il percorso logico che è stato seguito, si riporta una sintesi del procedimento adottato, evitando così anche una successiva ripetizione durante la spiegazione dei risultati ottenuti. Si definisce in aggiunta, una mappa concettuale, in maniera da rendere ancora più chiara e immediata la lettura di quanto verrà esposto.

VERIFICA DELL'INVOLUCRO

Il primo modello studiato prevede solamente il volume dell'edificio formato dalle partizioni e dalle chiusure, escludendo quindi tutti gli elementi di oscuramento e captazione solare. In questo modo si valuta l'apporto che solo l'involucro è in grado di fornire. L'attenuazione e lo sfasamento delle temperature interne rispetto alle condizioni esterne è da attribuirsi alle prestazioni dei pacchetti tecnologici.

INFLUENZA DELLA VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Il sistema impiantistico adottato, prevede un sistema di riscaldamento e raffreddamento combinato con la ventilazione meccanica controllata. Attraverso questa soluzione è possibile immettere in ambiente aria "pulita", e garantire le condizioni di igiene per gli ambienti interni. Inoltre, sfruttando l'escursione termica giornaliera, è possibile modificare l'andamento delle temperature in maniera favorevole, soprattutto durante la stagione estiva. Per comprendere l'effetto di questa soluzione si mantiene il modello precedente, non alterato da serre, cornici e frangisole.

APPORTO DI SERRE SOLARI e CORNICI

Lo step successivo è stato quello di inserire nel modello anche le cornici e le serre solari, soprattutto per valutare il contributo di queste ultime. Mettendo a confronto i dati con i modelli precedenti è possibile stimare, seppur approssimativamente, l'apporto dovuto a questi elementi. Il loro contributo può infatti essere positivo o negativo, a seconda della stagione e dell'alloggio analizzato.

GESTIONE DEI FRANGISOLE MOBILI

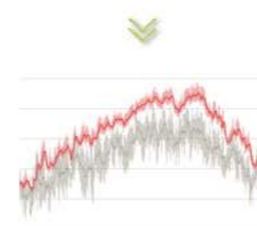
Il modello precedente può essere analizzato in condizioni differenti, a seconda che i frangisole, soprattutto in corrispondenza della serra solare, siano accorpati in unico punto o dislocati lungo la superficie finestrata.

Separando i due modelli si riesce infatti a percepire l'efficacia o meno della tecnica di oscuramento adottata.

PRE-TRATTAMENTO DELL'ARIA E GUADAGNI INTERNI

L'ultimo modello simulato, si avvicina ulteriormente alle condizioni reali, in quanto considera il pre-riscaldamento o raffreddamento dell'aria, mediante il passaggio dell'impianto nel terreno e, contemporaneamente, l'apporto gratuito dei guadagni interni. L'attivazione di queste condizioni non è stata fatta in precedenza in quanto avrebbe potuto alterare gli output delle simulazioni, rendendo difficile l'oggettiva interpretazione dei risultati.

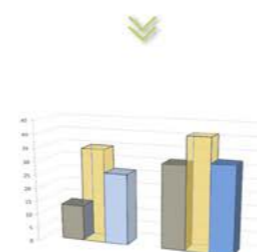
1° VERIFICA DELL' INVOLUCRO



Individuazione dei giorni critici, estivo ed invernale, da analizzare.

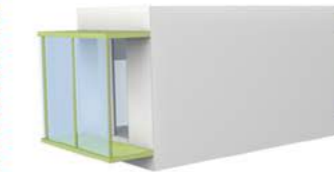


Per la stagione estiva si eseguono anche le analisi con la ventilazione meccanica naturale attivata.



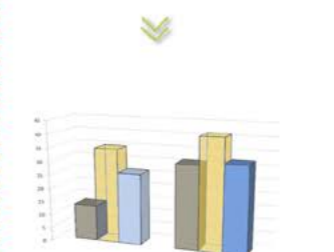
Elaborazione dei dati ed analisi critica.

2° ELEMENTI DI OSCURAMENTO E CAPTAZIONE SOLARE



Modello invernale per l'elaborazione dei dati:

- serramenti chiusi
- frangisole impacchettati



Elaborazione dei dati ed analisi critica.



Modello estivo sul quale eseguire le analisi con le seguenti caratteristiche:

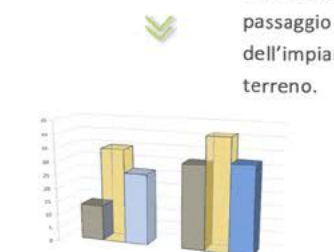
- serramenti aperti
- frangisole distribuiti lungo la superficie
- ventilazione meccanica attivata

3° INTERNAL GAINS E PRE-TRATTAMENTO ARIA



Guadagni interni, ventilazione meccanica, e pre-riscaldamento dell'aria.

Anche per la stagione estiva si attiva il pre-trattamento dell'aria, la quale viene raffreddata mediante passaggio dell'impianto nel terreno.



Elaborazione dei dati ed analisi critica.

Fig.190 Mappa concettuale delle analisi riportate nel seguente capitolo.

6.1.1 VERIFICA DELL'INVOLUCRO

Come già anticipato l'analisi dell'involucro viene effettuata sul modello base, e valuta le temperature interne agli alloggi. Fra i quattro alloggi analizzati, nel presente testo si spiegheranno solo i risultati ottenuti per gli appartamenti numero 1 e numero 4, rimandando alle tavole di sintesi [Rif. da Tavola 40 a 43] i risultati ricavati per i rimanenti alloggi. Questa scelta è stata effettuata sulla base di una prima analisi delle temperature interne, eseguita su tutte le zone termiche. Tutte le analisi che sono state condotte, sono partite dall'elaborazione di dati annuali, dai quali, mediante l'individuazione di un periodo critico di 30 giorni (uno estivo e uno invernale), si è giunti alla definizione del giorno critico.

Si è scelto di non ricercare semplicemente il valore massimo e minimo all'interno dei dati annuali perchè questo sarebbe potuto essere un caso isolato in un periodo con temperature differenti. Secondo il metodo adottato invece, si può essere certi di aver individuato un giorno rappresentativo della condizione peggiore, che risente quindi con continuità anche delle condizioni dei giorni che lo hanno preceduto.

L'individuazione dello specifico giorno consente di valutare l'andamento orario delle temperature e individuare i reali picchi, positivi e negativi, evitando le approssimazioni che caratterizzano una media giornaliera.



Dai dati annuali si individua un periodo critico di 30 giorni, all'interno del quale si registrano in media le temperature più basse (stagione invernale) o più alte (estate).



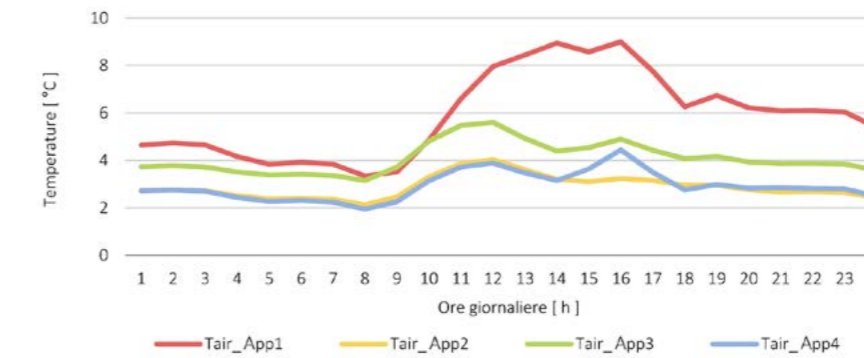
Il periodo con mensile è caratterizzato da temperature critiche che si succedono con continuità. Si evita attraverso questo passaggio di analizzare un giorno non ordinario in termini di temperature.



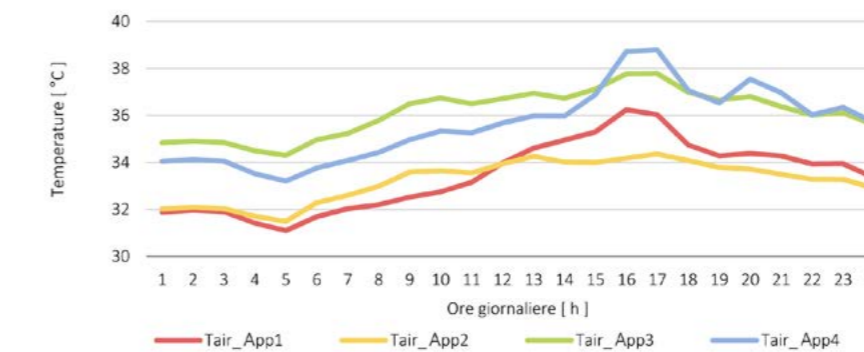
Si determina infine il giorno critico, estivo o invernale, rispetto al quale si conducono le analisi per gli alloggi.

Fig.191 Schema esplicativo dei periodi di riferimento per le analisi eseguite.

Come mostrano i grafici sottostanti, riportanti il giorno critico estivo e quello invernale, l'appartamento 4 è critico sia per la stagione invernale sia per quella estiva, l'alloggio 1 è invece favorito in entrambe le stagioni.



Graf.13 Confronto quattro alloggi durante il giorno critico invernale.



Graf.14 Confronto quattro alloggi durante il giorno critico estivo.

Nello specifico, si definiscono:

- un giorno critico "esterno", considerando la minima temperatura dell'aria esterna "Tmin ext" (giorno critico indipendente dall'alloggio e utilizzato anche per il primo confronto fra appartamenti);
- giorno critico "interno", individuato analizzando le temperature minime interne agli alloggi "Tmin int" (giorno critico caratteristico di ogni singolo alloggio).

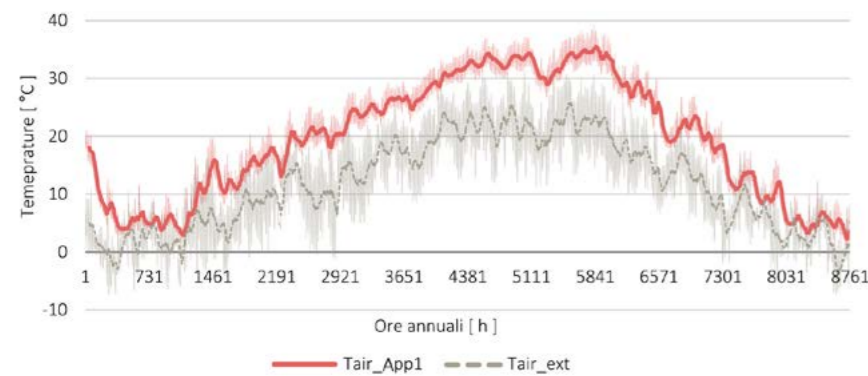
Così facendo si determina la situazione critica per le condizioni al contorno, e quella "di reazione" che si crea all'interno dell'edificio.



Come mostra la legenda soprastante, si analizza ora l'appartamento numero 1, all'interno del quale non sono attivi:

- la ventilazione meccanica naturale;
- sistema di riscaldamento;
- sistema di raffrescamento;
- guadagni interni (persone, pc, elettrodomestici, ...).

Una prima osservazione mostra come le temperature interne siano, durante l'anno, superiori rispetto alla condizione esterna. La tecnologia iperisolata durante la stagione invernale rende le temperature interne uniformi e superiori di molti gradi rispetto alle rigide e oscillanti temperature esterne. Ovviamente questo comportamento risulta gravoso per la stagione estiva, come si analizzerà nel seguito.



Graf.15 Analisi annuale delle temperature.

Attraverso le simulazioni della stagione invernale, si individuano, come scritto in precedenza, due distinti momenti critici:

- giorno critico "esterno", per il quale si definisce la "Tmin ext"
- giorno critico "interno", individuato analizzando le temperature minime interne agli alloggi "Tmin int".

Così facendo si determina la situazione critica per le condizioni al contorno, e quella "di reazione" che si crea all'interno dell'edificio.

Tab.23 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin ext : 25 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-7.35	2.20	9.55
T max [°C]	3.20	9.00	5.80

Il grafico individua il giorno "critico" inserito tra il giorno che lo precede e quello che lo segue al fine di valutare l'andamento complessivo delle temperature e contestualizzarle all'interno di un arco temporale più ampio.

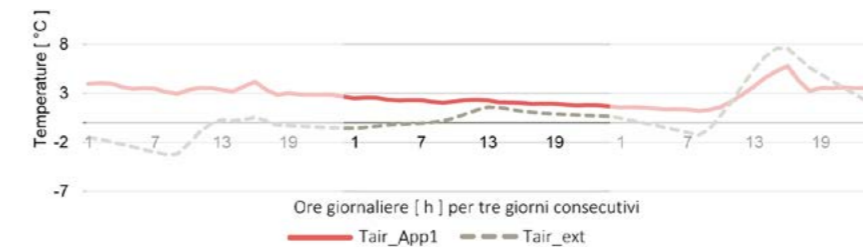


Graf.16 Analisi del giorno critico invernale (ambiente esterno).

L'appartamento "1", risente della sua esposizione a Nord e a Sud in questo periodo dell'anno in maniera positiva. Si registra infatti un'attenuazione considerevole rispetto alle temperature esterne.

Tab.24 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin int : 29 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	3.25	1.20	+ 4.45
T max [°C]	7.55	5.78	- 1.20



Graf.17 Analisi del giorno critico invernale (ambiente interno).

All'interno dell'appartamento analizzato, il momento critico si verifica quattro giorni dopo rispetto all'ambiente esterno. Questo comportamento conferma che l'involucro isola fortemente l'interno dall'ambiente e, come mostrano entrambi i grafici, garantisce una distribuzione delle temperature più uniforme rispetto alle oscillazioni esterne. Questo risultato è favorevole sia in termini di comfort che di impianto di riscaldamento, il quale dovrà sopperire ad un delta termico ridotto.

Anche per quanto riguarda l'analisi delle temperature estive, si è scelto di individuare due momenti caratteristici:

- un giorno critico definito considerando la massima temperatura dell'aria esterna Tmax ext ;

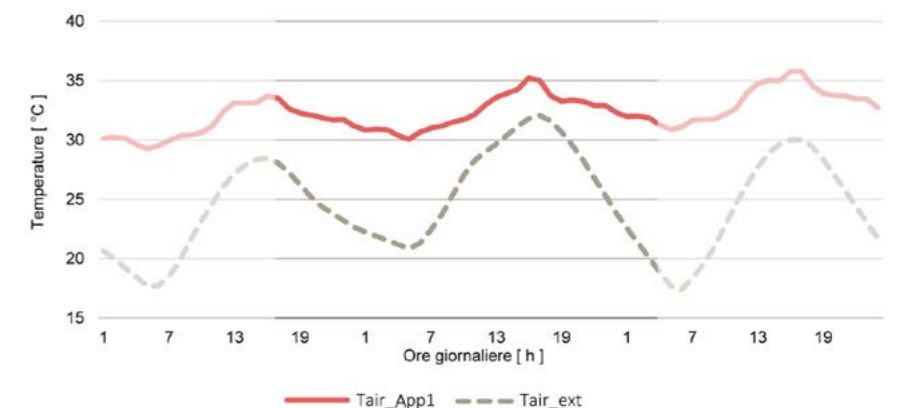
- un giorno critico individuato analizzando la temperatura massima interna agli alloggi Tmax int.

Come per la stagione invernale, si definisce la situazione critica per l'ambiente esterno, e quella "di reazione" che si crea all'interno dell'edificio.

Tab.25 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax ext: 9 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	17.40	29.26	+ 11.86
T max [°C]	32.05	35.77	+ 3.72
ΔT	14.65	6.51	

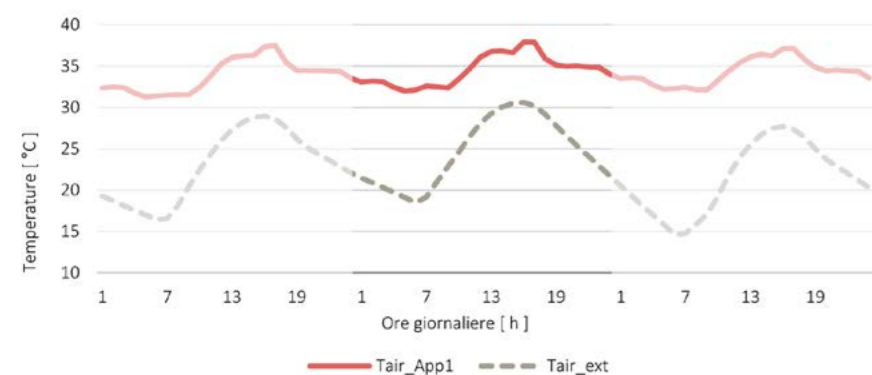
Per la stagione estiva si evidenzia l'escursione termica giornaliera, parametro che diventerà fondamentale in termini di ventilazione naturale dell'edificio.



Graf.18 Temperature giorno critico estivo (ambiente esterno).

Tab.26 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	14.60	31.26	+ 16.66
T max [°C]	30.60	37.90	+ 7.30
ΔT	16.00	6.63	

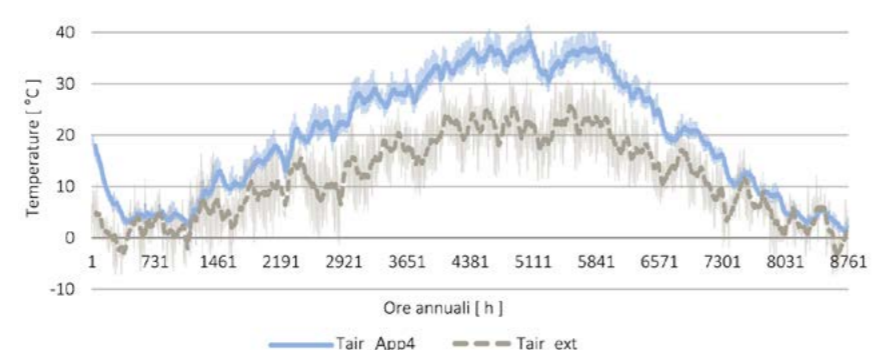


Graf.19 Giorno critico interno, stagione estiva.

I grafici sopra riportati mostrano come l'involucro iperisolato, una volta incamerato il calore derivante dall'esterno, lo mantenga con costanza all'interno, evidenziando una problematica nella tecnologia adottata. Bisogna tuttavia sottolineare che il modello utilizzato in questa fase rappresenta un edificio con un'elevata percentuale finestrata, priva di elementi di oscuramento. L'assenza nel modello di questi ultimi, poco incide sulle analisi invernali, data l'inclinazione ridotta dei raggi solari, ma è fondamentale per le simulazioni durante la condizione estiva.

Un ulteriore elemento che non volge a favore della condizione estiva ma che, invece, non altera sensibilmente la situazione invernale è l'assenza della ventilazione meccanica controllata (in particolar modo, come si vedrà nel seguito, l'assenza della ventilazione notturna che "scarica" termicamente l'edificio).

Si è tuttavia deciso di verificare la capacità termica areica per ogni stratigrafia [Rif. Paragrafo 5.3]. Valore che si è inoltre cercato di implementare, soprattutto per le chiusure esposte a Sud ed Ovest, inserendo una lastra con elevato potere inerziale, al fine di aumentare il contributo sfasante della chiusura. Si riportano ora le stesse analisi, condotte sull'appartamento numero 4. Anche in questo caso si individuano, per entrambe le stagioni, i due periodi critici partendo dall'analisi annuale delle temperature, esterne ed interne.



Graf.20 Andamento annuale delle temperature.

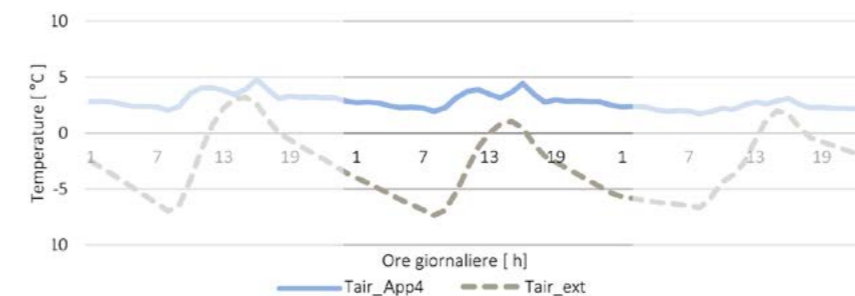
Ovviamente il giorno critico definito in base alle condizioni esterne è il medesimo per tutti gli appartamenti, sia per la stagione invernale che estiva.

Tab.27 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin ext : 25 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-7.35	1.73	+ 9.08
T max [°C]	3.20	4.77	+ 1.57

A conferma delle prime ipotesi dedotte dall'analisi annuale, l'appartamento 4 presenta un'attenuazione inferiore rispetto all'appartamento 1.

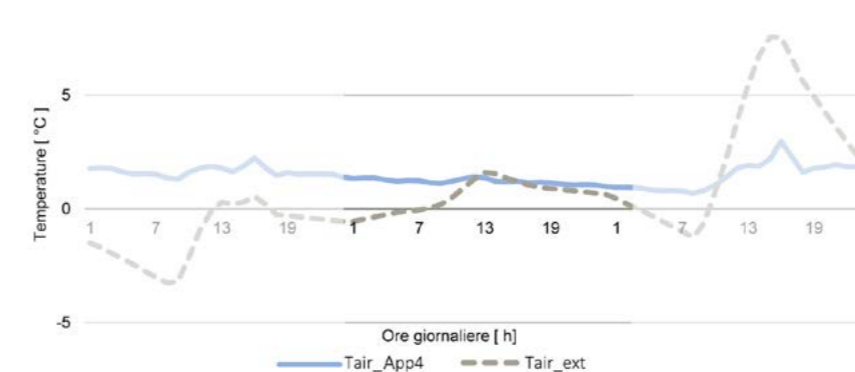
Tuttavia con riferimento alle temperature minime, la differenza è dell'ordine di un decimo di grado. Si registra invece un'attenuazione ridotta di circa 3 gradi rispetto alla temperatura massima.



Graf.21 Analisi invernale: giorno critico per l'ambiente esterno.

Tab.28 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale .

Giorno critico, Tmin int : 29 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-3.25	0.68	+ 3.93
T max [°C]	7.55	2.97	- 5.80



Graf.22 Analisi invernale: giorno critico per l'ambiente interno.

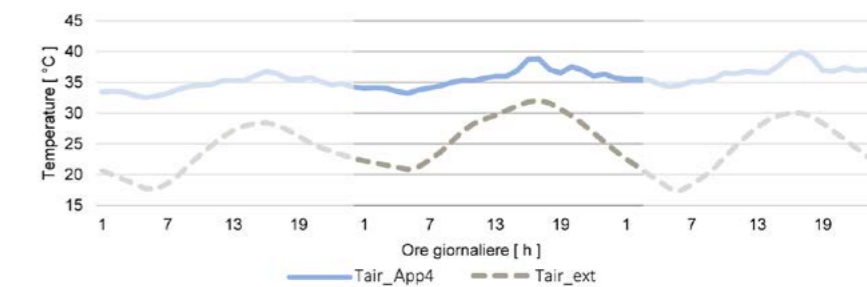
Anche all'interno dell'appartamento 04, il momento critico si verifica quattro giorni dopo rispetto all'ambiente esterno, a conferma dell'efficienza dell'involucro adottato.

Si individuano ora, come per l'alloggio precedente, i due momenti caratteristici per la stagione estiva. Anche in questo caso si vede come questo alloggio si trovi in una condizione più critica rispetto al precedente.

Questo può essere dovuto al fatto che l'alloggio in oggetto ha un'esposizione peggiore rispetto al precedente. Non godendo di un fronte riparato, come può essere quello a Nord del modulo 1, ma avendo solo fronti esposti alla radiazione solare tutto il giorno, è comprensibile il fatto che questo si trovi in una condizione più critica.

Tab.29 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

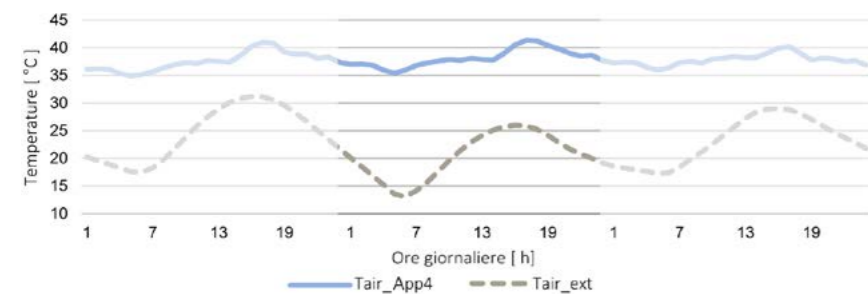
Giorno critico, Tmax ext: 9 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	17.40	32.53	+ 15.13
T max [°C]	32.05	39.93	+ 7.88
ΔT	14.65	7.40	



Graf.23 Temperature giorno critico estivo (esterno).

Tab.30 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	13.10	34.91	+ 21.81
T max [°C]	31.20	41.35	+ 10.15
ΔT	18.10	6.44	



Graf.24 Andamento delle temperature per il giorno critico estivo interno.

A conferma di quanto emerso dall'analisi del primo appartamento, in estate si assiste ad una situazione di surriscaldamento all'interno degli ambienti. Le chiusure creano tuttavia uno sfasamento dei picchi e la condizione peggiore viene a crearsi quasi tre settimane dopo il periodo critico caratterizzante l'ambiente esterno.



I grafici giornalieri riferiti alla stagione estiva evidenziano un elemento particolarmente interessante che la caratterizza: l'escursione termica giornaliera.

Durante le ore notturne l'aria esterna ha temperature inferiori di circa 10°- 15°C rispetto al picco massimo giornaliero. La presenza di aria nell'ambiente esterno con temperature inferiori ai 20°C consente l'introduzione della stessa negli appartamenti, al fine di "scaricare" termicamente gli alloggi ed evitare che nel susseguirsi delle giornate il calore continui ad accumularsi.

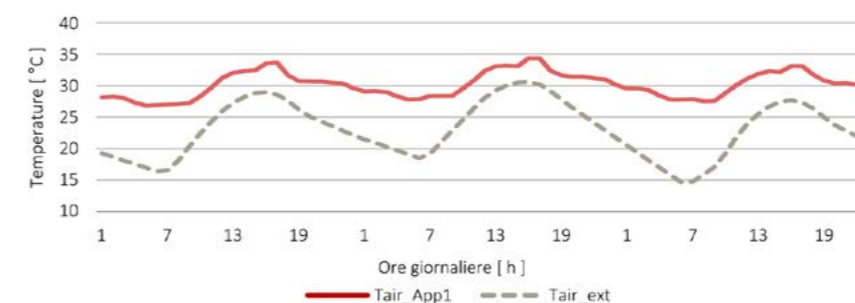
Per questo motivo con riferimento alla condizione estiva, si studia anche un modello che, rispetto al precedente, vede come unica differenza l'attivazione della ventilazione meccanica naturale all'interno dei singoli alloggi. Con questo tipo di ventilazione, l'aria immessa negli ambienti interni non è trattata, ed ha la stessa temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio. Così facendo il consumo energetico dell'impianto è particolarmente contenuto.

Si analizza in questo caso solo il giorno definito critico in base all'analisi delle temperature interne all'alloggio. Così facendo si valuta il contributo della ventilazione durante il giorno estivo peggiore per chi effettivamente risiede nell'appartamento. In prima analisi si imposta un ricambio d'aria costante di 0.5 Vol/h, in aggiunta ad un ricambio pari a 2 Vol/h che si attiva solo quando le temperature esterne sono inferiori a 20°C.

Per quanto riguarda l'appartamento 1 si ottengono i seguenti valori:

Tab.31 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	13.10	26.85	+ 15.51
T max [°C]	31.20	34.37	+ 4.32
ΔT	13.75	6.90	

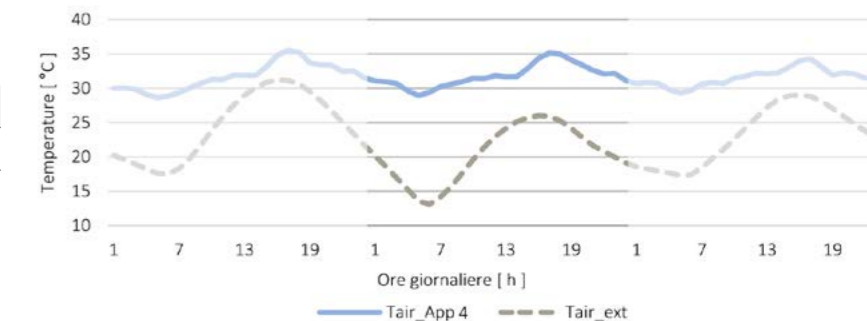


Graf.25 Giorno critico per l'ambiente interno, analisi delle temperature.

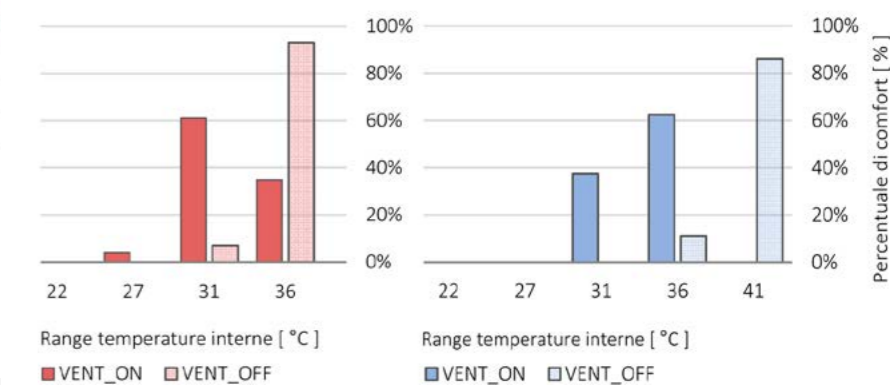
Per l'appartamento 4 si sono registrati i dati seguenti:

Tab.32 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	13.10	28.61	+ 15.51
T max [°C]	31.20	35.52	+ 4.32
ΔT	16.00	6.63	



Graf.26 Giorno critico per l'ambiente interno, analisi delle temperature.



Graf.27 Confronto percentuali di comfort: alloggi 1 e 4 con o senza ventilazione attivata.

Come mostrano i grafici, la ventilazione meccanica controllata aumenta il livello di comfort in entrambi gli alloggi, spostando le temperature verso valori più vicini a quelle auspicabili per la stagione estiva [24-26 °C].

6.1.2 ELEMENTI DI OSCURAMENTO E CAPTAZIONE SOLARE

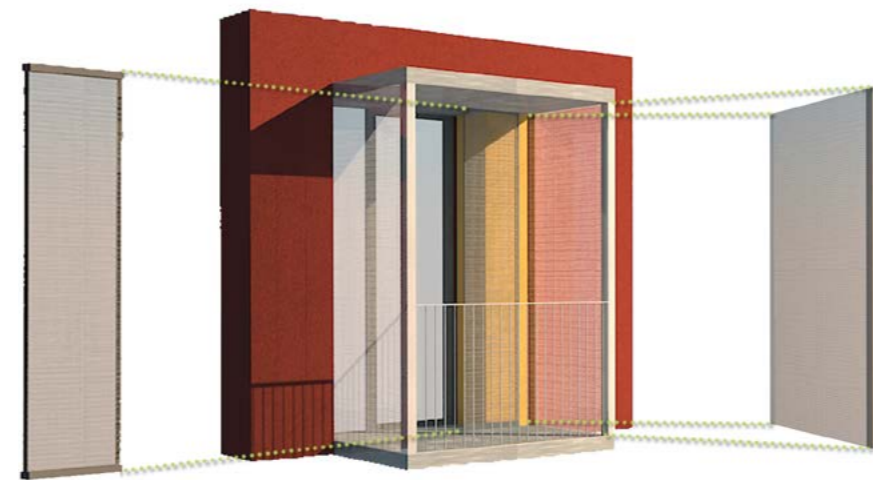
Il presente paragrafo si concentra sull'analisi delle scelte architettoniche che più caratterizzano il progetto: le cornici, le serre solari e i frangisole mobili.

L'analisi delle cornici all'interno di questo ambito, mostra la valenza tecnologica ed energetica delle stesse. Esse hanno una superficie laterale forata, tale da proteggere dall'eccessiva radiazione solare, senza occludere totalmente la visuale verso l'esterno e il contributo dell'illuminazione naturale. Unitamente alle superfici orizzontali, aventi superficie completamente opaca, questi elementi offrono un notevole contributo in termini di comfort e prestazioni energetiche, come si è dimostrato in questa sede.

Anche i ballatoi-serra sono un elemento fondamentale, soprattutto per la loro adattabilità alle stagioni e alle variazioni climatiche. Questa flessibilità è stata considerata nelle analisi, attraverso modelli con una differente disposizione degli elementi frangisole, al fine di ottenere dei valori che rispondessero al meglio ad un'ipotetica condizione reale.

La disposizione delle serre lungo i fronti maggiormente soleggiati, offre in inverno il vantaggio di captare la maggior radiazione possibile e, in estate, di ombreggiare, mediante le solette, gli ambienti interni. Il tutto offrendo al contempo un distributivo protetto e utilizzabile al pieno delle sue possibilità.

Lo schema a lato mostra le caratteristiche salienti degli elementi di oscuramento e captazione solare.



Frangisole mobili in maglia metallica

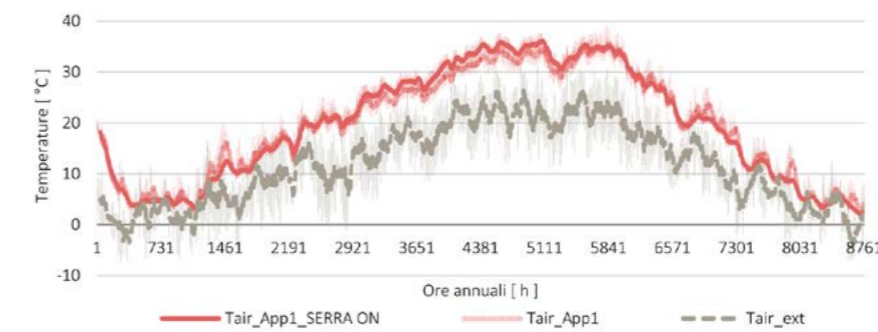
Pareti fisse degli elementi cornici in maglia metallica



Fig.192 Schema degli elementi di oscuramento presenti all'interno del progetto ed esempi di utilizzo dei frangisole metallici in edifici contemporanei.



Il secondo livello di analisi è stato applicato ad un modello comprensivo di elementi oscuranti o captanti, quali i frangisole mobili, le cornici e i ballatoi-serra. Anche in questo caso si analizza prima l'alloggio numero 1, il cui andamento annuale delle temperature accenna a delle variazioni rispetto al modello precedente.

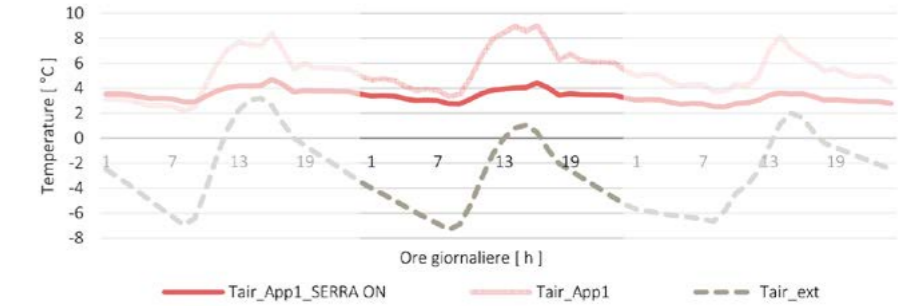


Graf.28 Andamento annuale delle temperature.

Durante l'analisi invernale si considerano i frangisole mobili "impacchettati", al fine di evitare un oscuramento indesiderato. Si procede nel riportare i risultati delle simulazioni seguendo lo schema adottato per i modelli precedenti.

Tab.33 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

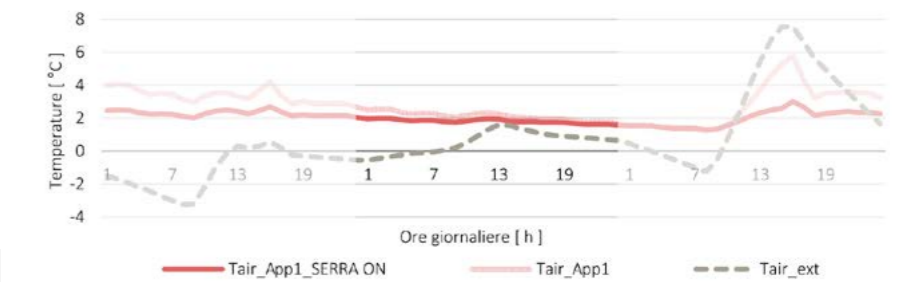
Giorno critico, T _{min} ext: 25 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-7.35	2.50	+9.85
T max [°C]	3.20	4.67	+1.47



Graf.29 Giorno critico per la stagione invernale

Tab.34 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, T _{min} int: 29 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-3.25	1.29	+4.54
T max [°C]	7.55	3.00	-4.55



Graf.30 Giorno critico invernale per l'ambiente interno.

Entrambi i grafici mostrano come, la presenza della serra in adiacenza all'appartamento 1, offra un contributo negativo in termini di temperatura interna.

Quest'ultima risulta infatti inferiore, seppur di 1 o 2 °C, rispetto alla condizione sprovvista di serra.

Si è cercato nel seguito di comprendere questi risultati, e di capire se la presenza della serra costituisca a prescindere un elemento di discomfort.

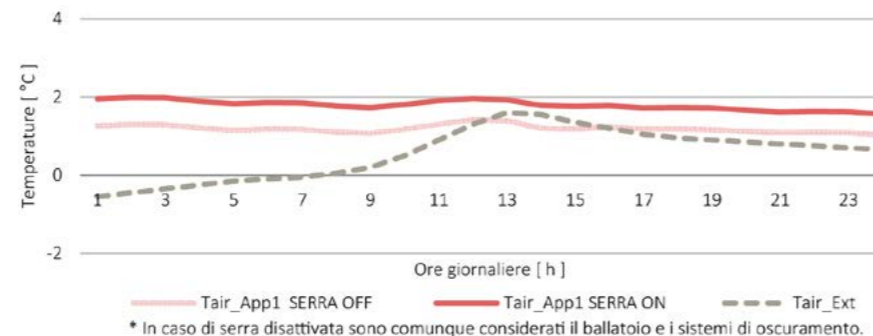
Come già spiegato la serra è stata introdotta per:

- sfruttare la superficie di distributivo comunque necessaria a livello architettonico, al fine di implementare il comfort invernale;
- proteggere il distributivo dagli agenti atmosferici e renderne più confortevole l'utilizzo durante tutto l'anno (riparo da pioggia, freddo, vento ...);
- sfruttare la presenza dei frangisole orizzontali necessari durante il periodo estivo.

L'estate si configura infatti come un periodo critico per l'area di progetto e per la tipologia di edificio (involucro iper-isolato), per cui non è possibile non inserire elementi oscuranti (verticali e orizzontati) sulla facciata Sud. Partendo da questo presupposto, è stata verificata una simulazione considerando la presenza dei ballatoi comprensivi dei soli elementi oscuranti, eliminando quindi la componente vetrata costituente la serra. In conformità con le analisi precedenti si è preso in considerazione il giorno critico per l'alloggio, e non quello per l'ambiente esterno.

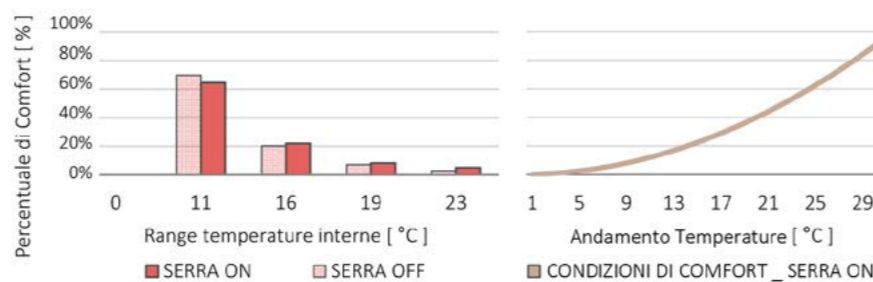
Tab.35 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin int: 29 Dicembre			
	Ambiente interno Ballatoio senza serra	Ambiente interno Serra attiva	Δ termico (apporto serra)
T min [°C]	1.03	1.28	+ 0.25
T max [°C]	1.41	3.05	+ 1.64



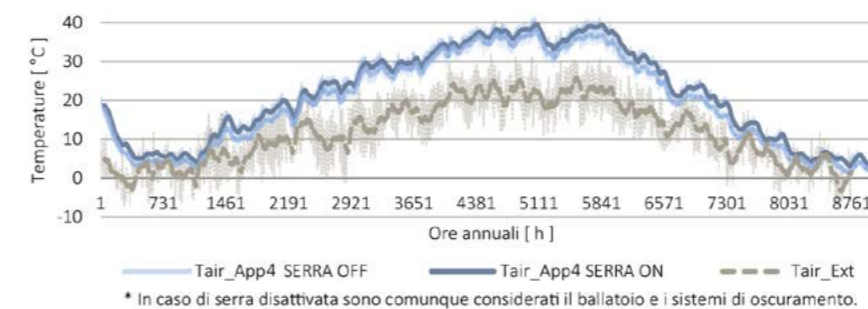
Graf.31 Temperature giorno critico invernale.

L'assenza del buffer termico che si avrebbe con la serra attiva, si ripercuote sulle temperature interne che risultano ulteriormente abbassate. Questo a dimostrazione che, dovendo comunque predisporre degli elementi oscuranti, l'aggiunta del vetro contribuisce a migliorare le condizioni interne all'appartamento. Il grafico sottostante conferma che la presenza della serra, rispetto alla sola condizione di ballatoio (frangisole) contribuisce ad aumentare la frequenza di temperature più vicine all'intervallo di comfort.



Graf.32 Confronto percentuali di comfort: alloggio con serra attiva o assente.

L'appartamento 4 in corrispondenza di tutte le aperture, ha cornici che sporgono di 50 cm (non accessibili) o di 100 cm (balconi) e che svolgono quindi anche la funzione di elementi frangisole. Sul fronte Ovest, in continuità con il prospetto Sud, rimane invece la serra solare con i rispettivi frangisole mobili.



Graf.33 Analisi annuale delle temperature.

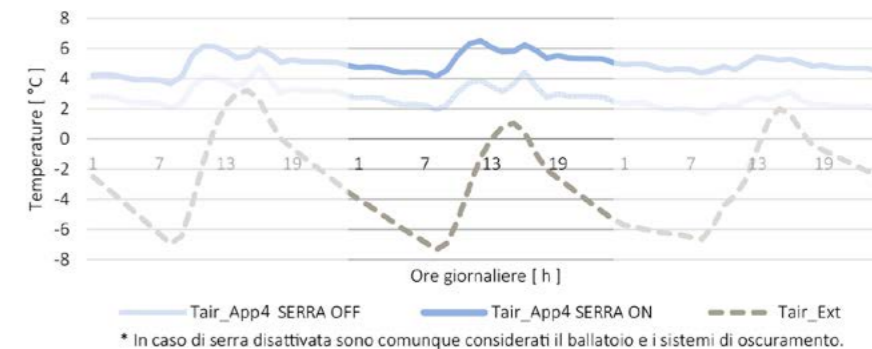
Per la stagione invernale si analizza il contributo della serra con riferimento alla condizione critica sia interna all'alloggio che esterna. Si differenziano i due casi poiché la serra risente direttamente delle temperature esterne.

Tab.36 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

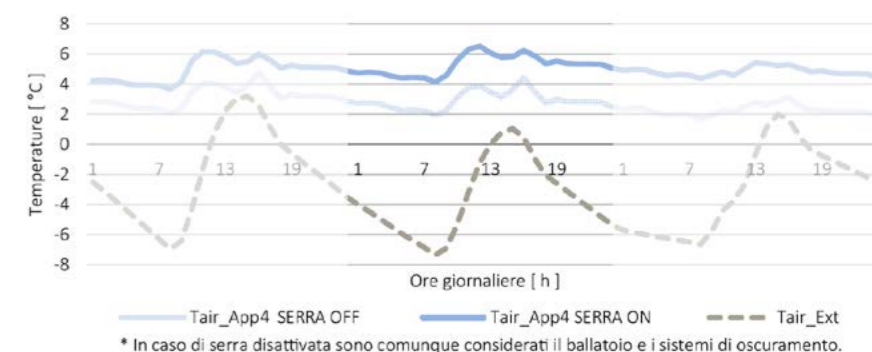
Giorno critico, Tmin ext: 25 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-7.35	3.67	+ 11.02
T max [°C]	3.20	6.52	+ 3.32

Tab.37 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin int: 29 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	-3.25	2.39	+ 5.64
T max [°C]	7.55	4.32	- 3.23

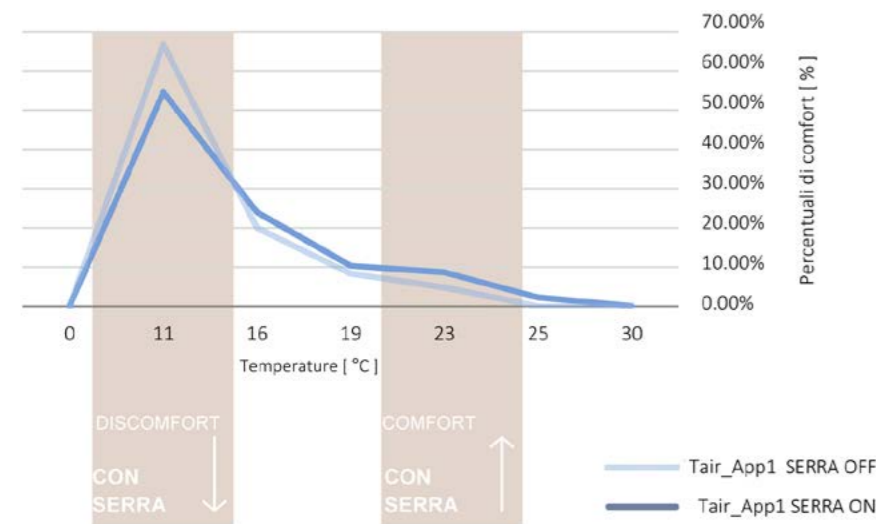


Graf.34 Ambiente esterno critico, analisi giornaliera delle temperature.



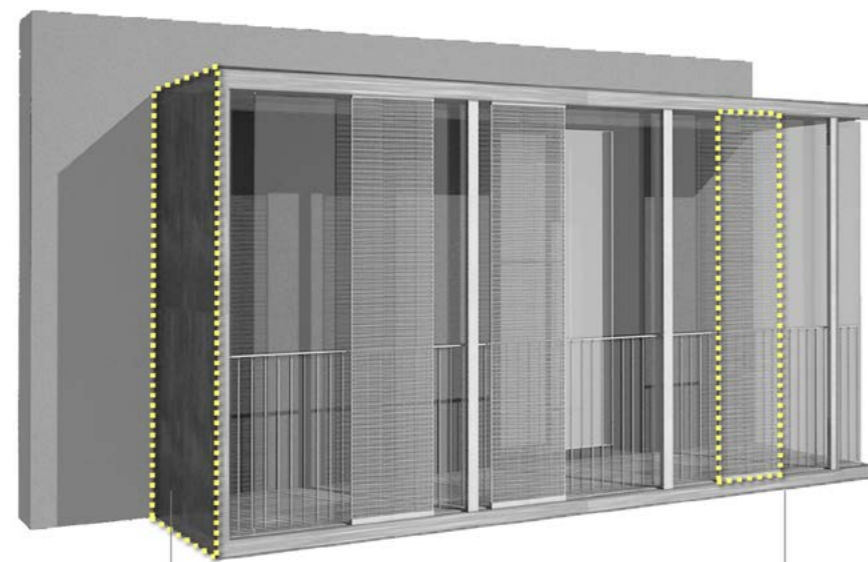
Graf.35 Ambiente interno critico, andamento delle temperature.

Entrambi i grafici mostrano come, la presenza della serra, offra un contributo positivo in termini di temperatura interna. Quest'ultima risulta infatti maggiorata di almeno 2°C rispetto alla condizione senza di questa. Per comprendere in maniera più immediata l'effetto del ballatoio-serra si sono analizzati e confrontati diversi intervalli di comfort, suddivisi in termini di temperature.



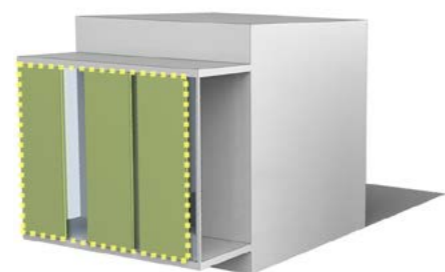
Graf.36 Confronto percentuali di comfort.

Oltre all'aumento delle temperature, è importante notare come diminuisca il discomfort all'interno degli alloggi attraverso la serra. Nei punti di picco si passa infatti da valori dell'ordine del 70% a valori poco più alti del 50%.



Tamponamenti opachi e isolati a conclusione del ballatoio - serra.

Frangisole esterni in grigliato metallico



Disposizione estiva = CHIUSI ed invernale = APERTI dei frangisole mobili.



Fig.193 Schema della serra solare e delle possibili disposizioni dei frangisole meallici.

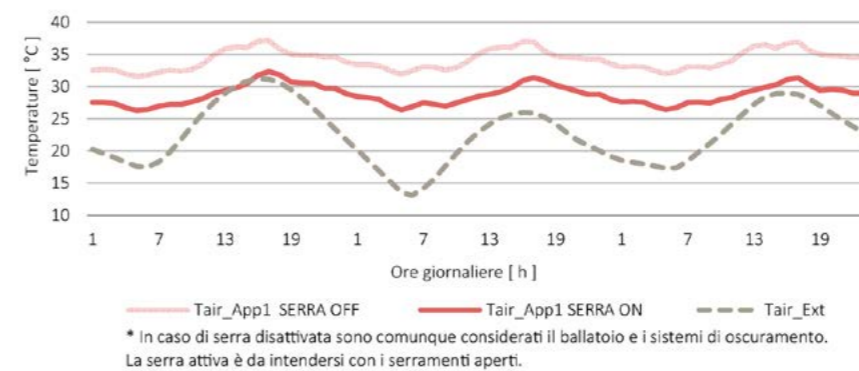


Il secondo livello di analisi è stato applicato anche durante la stagione estiva, rispetto alla quale si attiva però la ventilazione meccanica naturale che, come già dimostrato in precedenza, aiuta a raggiungere condizioni di comfort durante i mesi più caldi.

Ovviamente, durante la stagione estiva la serra è da intendersi con i serramenti aperti. La stessa diviene quindi un buffer termico ombreggiato e ventilato. Le analisi condotte sull'alloggio 1 hanno condotto ai seguenti risultati:

Tab.38 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	13.10	26.29	+13.19
T max [°C]	31.20	32.34	+ 1.14
	18.10	6.05	

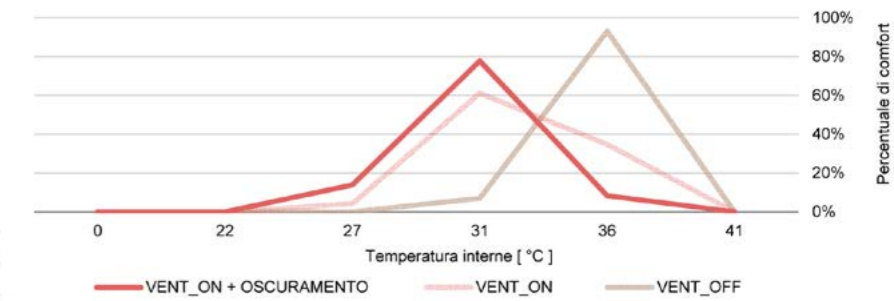


Graf.37 Analisi giorno critico estivo.

Frangisole e componenti dei ballatoi-serra divengono d'estate elementi per ridurre ulteriormente l'ingresso della radiazione solare negli ambienti interni riducendone il surriscaldamento.

Si riporta una sintesi dell'apporto che la ventilazione e gli elementi di oscuramento offrono in termini di comfort. Questo è stato analizzato individuando in percentuale, per quante ore si registra un prefissato range di temperature nell'ambiente interno.

Con la ventilazione meccanica e i frangisole attivi si raggiunge una frequenza maggiore in corrispondenza di temperature più basse. L'assenza di entrambi i sistemi lascia invece le temperature quasi esclusivamente intorno ai 40°C.

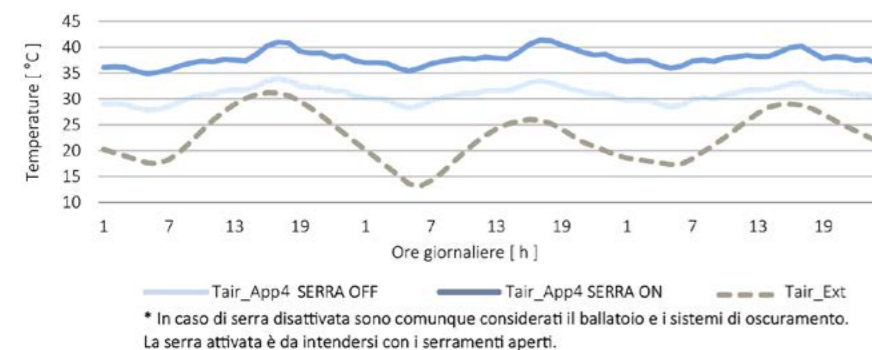


Graf.38 Confronto percentuali di comfort: alloggio con o senza ventilazione attivata.

Anche per l'appartamento 4, con riferimento alla stagione estiva, si studia il modello precedente (giorno critico per l'ambiente interno) con attivata la ventilazione meccanica naturale all'interno dei singoli appartamenti (0.5 Vol/h costanti + 2 Vol/h per aria esterna con temperatura inferiore a 20°C). Per quanto riguarda la situazione estiva si considera la serra aperta e quindi in diretto contatto con l'esterno. Pertanto si analizza solo il giorno precedentemente individuato come critico in base alle temperature interne.

Tab.39 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno	Attenuazione
T min [°C]	13.10	27.81	+ 14.71
T max [°C]	31.20	33.96	+ 2.73
	18.10	6.15	



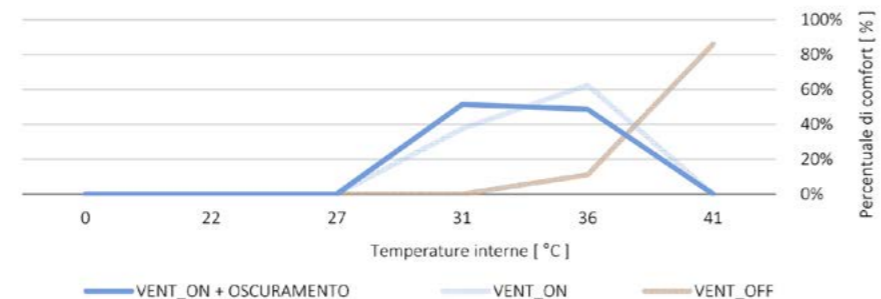
Graf.39 Analisi delle temperature durante il giorno critico estivo, confronto casistiche.

Frangisole e componenti dei ballatoi-serra divengono d'estate elementi per ridurre l'ingresso della radiazione solare negli ambienti interni riducendone il surriscaldamento.

Il grafico soprastante rappresenta come, la presenza degli elementi oscuranti contribuisca a ridurre ulteriormente le temperature interne.

Il grafico sotto riportato mostra, sinteticamente, gli apporti positivi forniti dalla ventilazione meccanica controllata e dalla presenza degli elementi frangisole. Si nota come tutti i valori tendano, con gli accorgimenti adottati, a spostarsi verso sinistra, e quindi verso le temperature più vicine a quelle di comfort.

L'assenza di entrambi i sistemi lascia invece le temperature quasi esclusivamente intorno ai 40°C.



Graf.40 Confronto percentuali di comfort per i differenti modelli analizzati.

6.1.3 GUADAGNI INTERNI GRATUITI E PRE-TRATTAMENTO DELL'ARIA

Tutte le analisi eseguite in precedenza sono state fatte per valutare l'incidenza e l'efficacia delle soluzioni tecnologiche ed energetiche adottate. Utilizzando ora un modello comprensivo di tutti gli elementi validati, si procede con la registrazione dei parametri di comfort all'interno degli ambienti considerando gli stessi nelle condizioni più simili a quelle che si avrebbero durante il reale utilizzo dell'edificio. Si elaborano i dati relativi al giorno critico per la condizione interna agli alloggi.

6.1.3.1 GUADAGNI INTERNI GRATUITI

Ogni ambiente quando viene utilizzato presenta, al suo interno, dei carichi termici gratuiti generati dalla presenza dell'utenza e dei dispositivi che la stessa utilizza al suo interno.

Il metabolismo degli occupanti, costituisce una prima fonte di calore che varia a seconda dell'attività che le persone svolgono all'interno del locale. Nel caso in oggetto, la condizione ordinaria prevede una o due persone (appartamento singolo o doppio) che svolgono attività di riposo o di lavoro leggero. In conformità con la normativa ISO 7730 in tale condizione si genera un carico totale di circa 150 W (componente sensibile + componente latente). Anche le apparecchiature elettriche e i corpi illuminanti apportano un carico termico aggiuntivo all'interno degli alloggi che non può essere trascurato.

Nel caso in oggetto, per un alloggio singolo sono stati considerati i carichi riassunti in tabella.

Tab.40 Potenza richiesta dai principali elettrodomestici presenti in un appartamento.

Apparecchio	W totali	Numero apparecchi	Numero apparecchi	Ore attivazione giornaliera	Giorni attivazione settimanale
		App. singolo	App.doppio *		
Personal Computer	230	1	2	5	7
Apparecchi illuminanti	7	4	6	6	7
Frigorifero	28	1	1	16	7
Fornelli	200	1	2	1	7
Forno	500	1	2	1	2
Ferro da stiro	178	1	2	2	1
Televisione	28	1	2	1	7
Phon	140	1	2	0.15	4

* questi valori sono da intendersi come riferiti ad un unico apparecchio, usato il doppio in caso di due persone all'interno dell'unità abitativa.

Ovviamente i dispositivi predisposti costituiscono una media di quello che potrebbe essere l'effettivo utilizzo di ogni singolo apparecchio. L'assenza della lavatrice è dovuta alla predisposizione del locale lavanderia in comune fra tutti gli alloggi. I guadagni interni sono dei veri e propri carichi termici da aggiungere a quelli naturalmente influenti sull'edificio, presenti indipendentemente dal suo effettivo utilizzo. Durante la stagione invernale comportano una riduzione dell'energia termica necessaria per raggiungere le temperature di comfort. Nel corso di quella estiva sono invece un elemento di sovraccarico per l'impianto di raffrescamento. Per questo ragione e, unitamente, al fine di ridurre i consumi energetici,

si predilige l'utilizzo di apparecchiature elettriche energeticamente performanti e sostenibili. Un esempio esplicativo è costituito dai corpi illuminanti, che sono stati scelti con un consumo ridotto, pari a soli 7 W cadauno.

Rispetto alle lampadine tradizionali, le lampadine a risparmio energetico consumano meno, producono la stessa intensità luminosa, durano di più e non devono essere sostituite frequentemente.

Tab.41 Consumo energetico di corpi illuminanti a diversa efficienza energetica.

Lampadine tradizionali A incandescenza o alogene	Lampadine sostitutive 30% Risparmio energetico con le lampadine alogene a basso consumo	50% Risparmio energetico con le lampadine alogene a basso consumo	80% Risparmio energetico con le lampadine compatte fluorescenti a basso consumo
25 W			5-6 W
35 W	25 W		
40 W	28 W	28 W	7-9 W
50 W	35 W		
60 W	42 W	42 W	11-12 W
75 W	53 W		14-16 W
100 W	70 W		18-20 W
150 W	105 W		23-27 W
200 W	140 W		
300 W	200 W		
500 W	350 W		



Fig.194 Confronto fra lampadine tradizionali e ad alta efficienza energetica.

6.1.3.2 VENTILAZIONE NATURALE _ GEOTERMICA

Le simulazioni precedenti sono state eseguite attivando la ventilazione naturale, immettendo aria non trattata, con temperatura pari a quella dell'aria esterna. All'interno del progetto è stato tuttavia predisposto un impianto di pre-temperazione geotermica attraverso il quale sfruttare "gratuitamente" la temperatura relativamente costante del suolo per riscaldare o raffreddare l'aria prima dell'ingresso nell'impianto per la ventilazione meccanica controllata. [Rif. Paragrafo 6.3.8.2].

Pur essendo un sistema di "superficie", che ricorre a tubazioni interrato con profondità di 1,5÷2,0m, e che utilizza l'aria come vettore termico, è in grado di ridurre notevolmente la differenza di temperatura che l'aria in mandata deve raggiungere per avere una temperatura comfort, sia durante la stagione estiva che invernale.

A favore di sicurezza, sia per la stagione invernale che per quella estiva si considera un delta termico favorevole di ± 4°C.

Si riporta nel seguente paragrafo il risultato delle analisi condotte attivando sia i guadagni interni che la ventilazione con l'aria pretrattata.



Fig.195 Schema concettuale del pre-trattamento dell'aria.

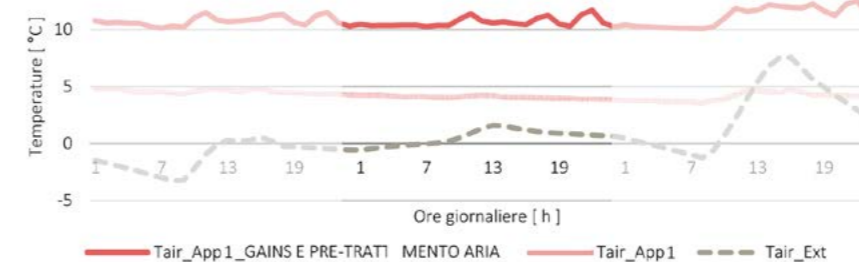
$T_{\text{terreno invern}} > T_{\text{aria ext}}$
 $T_{\text{terreno estate}} < T_{\text{aria ext}}$



Con riferimento all'appartamento 1, si riportano nello specifico i risultati delle analisi eseguite sul modello "realistico". I guadagni interni e il pre-riscaldamento dell'aria offrono, durante la stagione invernale, un carico termico positivo.

Tab.42 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

	Giorno critico, T _{min} int: 29 Dicembre			
	Ambiente esterno	Ambiente interno (base)	Ambiente interno (gains e pre-trattamento)	Attenuazione
T min [°C]	-3.25	1.29	7.56	+ 7.81
T max [°C]	7.55	3.01	12.33	+ 4.78
	10.80	1.72	4.77	



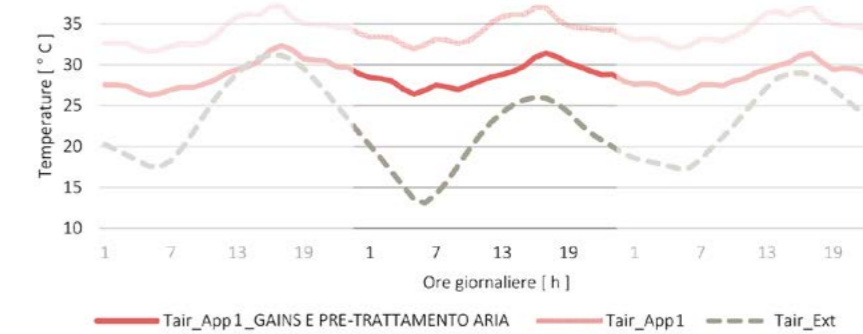
Graf.41 Confronto modelli differenti durante il giorno critico invernale.

Il modello finale mostra come, senza l'attivazione di impianti di riscaldamento, si riesca a raggiungere un delta termico di quasi 8 °C durante la stagione invernale.

Nonostante durante la stagione estiva la presenza dei carichi interni costituisca un elemento di sovraccarico e di discomfort, l'attivazione della ventilazione meccanica combinata con il pre-raffreddamento geotermico, comporta un'ulteriore riduzione delle temperature interne, che si avvicinano maggiormente ai livelli di comfort attesi durante i mesi caldi. In estate, si riescono a raggiungere 26,29 °C, rientranti nell'intervallo di comfort. Inoltre, la temperatura massima che si registra supera di poco i 30°C. Da sottolineare il fatto che questa condizione è ottenuta senza aver attivato alcun impianto di raffreddamento, a dimostrazione che le soluzioni tecnologiche, architettoniche ed energetiche adottate rendono l'edificio performante e confortevole.

Tab.43 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.

	Giorno critico, T _{max} int: 30 Luglio			
	Ambiente esterno	Ambiente interno (base)	Ambiente interno (gains e pre-trattamento)	Attenuazione
T min [°C]	13.10	31.58	26.29	+ 13.19
T max [°C]	31.20	37.14	32.34	+ 1.14
	18.10	5.56	6.05	



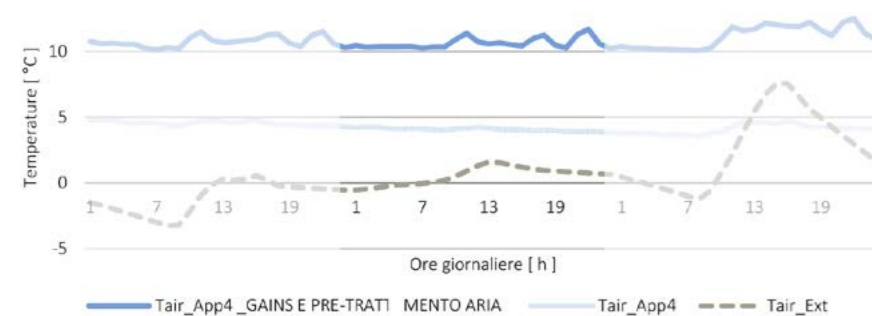
Graf.42 Analisi e confronto temperature durante il giorno critico estivo.

Si riportano i dati relativi all'appartamento più sfavorito. L'alloggio 4 conferma e rafforza quanto detto in precedenza. Le strategie adottate contribuiscono "passivamente" a ridurre il delta termico fra esterno ed interno, riducendo il carico termico degli impianti.

Durante la stagione invernale si raggiunge un'attenuazione con l'ambiente esterno di quasi 12 °C. L'importanza di questi risultati diviene fondamentale in termini impiantistici, poichè le apparecchiature dovranno sopperire ad un delta termico decisamente inferiore e gravare di conseguenza molto meno in termini energetici.

Tab.44 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmin int: 29 Dicembre				
	Ambiente esterno	Ambiente interno (no gains e pre-trattamento)	Ambiente interno (gains e pre-trattamento)	Attenuazione
T min [°C]	-3.25	2.39	8.59	+ 11.84
T max [°C]	7.55	4.32	12.03	+ 4.48
	10.80	1.93	3.44	

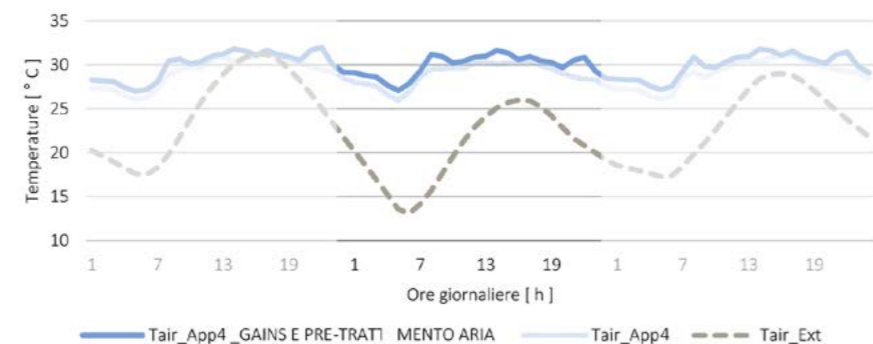


Graf.43 Andamento delle temperature, giorno critico invernale.

Lo stesso ragionamento è valido anche per l'estate. Nel giorno più critico in assoluto, per l'appartamento più sfavorito, si riescono a raggiungere 26,29 °C, rientranti nell'intervallo di comfort. Inoltre, la temperatura massima che si registra supera di poco i 30°C.

Tab.45 Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.

Giorno critico, Tmax int: 30 Luglio				
	Ambiente esterno	Ambiente interno (no gains e pre-trattamento)	Ambiente interno (gains e pre-trattamento)	Attenuazione
T min [°C]	13.10	28.24	26.29	+ 13.19
T max [°C]	31.20	34.75	32.34	+ 1.14
	18.10	6.51	6.05	



Graf.44 Andamento delle temperature, giorno critico estivo.

Si riporta nella pagina a fianco, un confronto riassuntivo di quanto esposto sin ora, con riferimento all'alloggio più critico.

I grafici mostrano, per la condizione invernale come per quella estiva, un progressivo avvicinamento alle temperature di comfort, conseguente alla modellazione più simile alla situazione di progetto.

Il fatto che, implementando il modello e rendendo più realistica la simulazione, si raggiungano condizioni migliori di comfort, significa che le strategie adottate in fase progettuale sono efficaci e performanti. Le condizioni climatiche esterne sono difficili da affrontare, essendo opposte durante la stagione estiva e invernale, e intermedie in primavera e autunno. Ogni elemento, a partire dall'involucro, ha infatti evidenziato delle criticità in relazione alle condizioni al contorno.

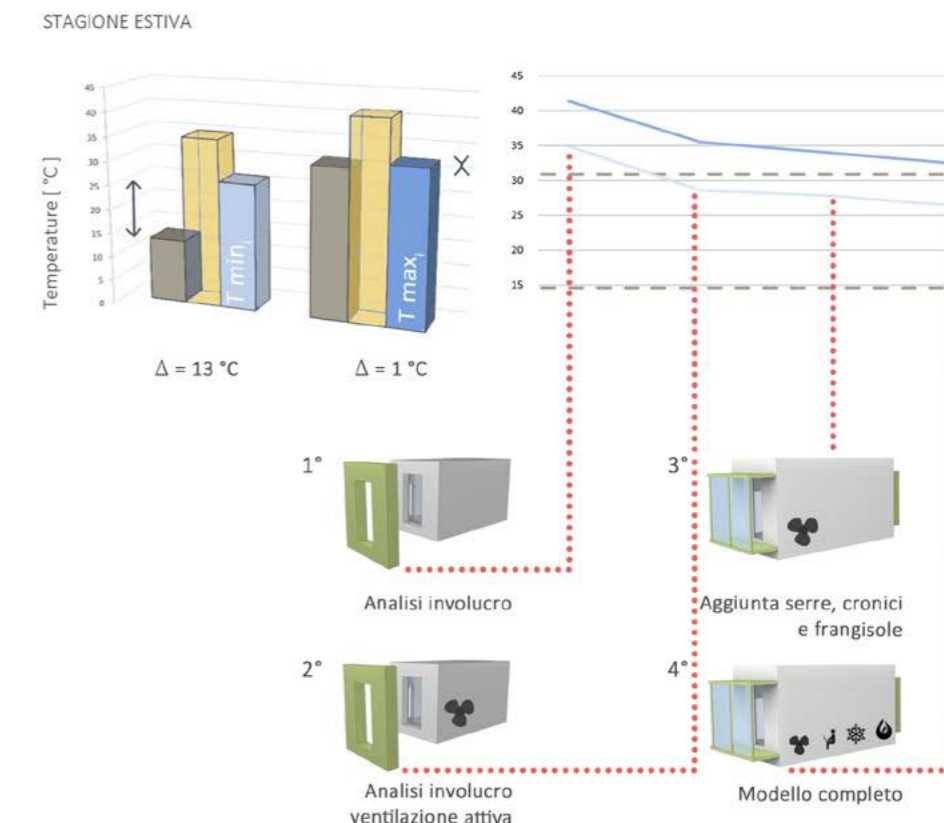
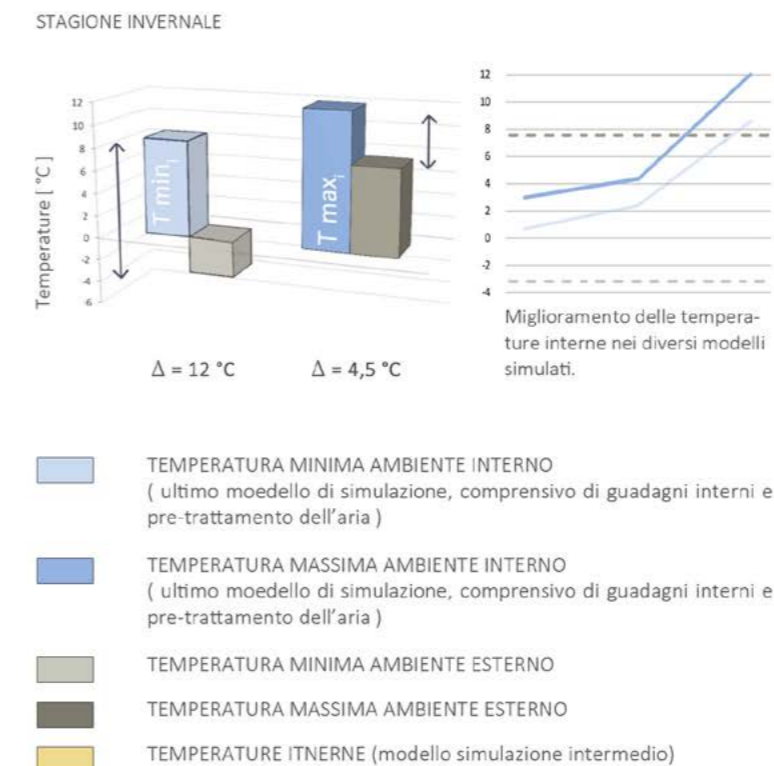


Fig.196 Schema conclusivo delle analisi condotte, con riferimento all'alloggio più sfavorito (4).

L'adozione di sistemi "attivi", come i frangisole mobili e le serre-ballatoio, di assetto modificabile durante l'arco dell'anno, ha contribuito a mitigare le suddette problematiche. Ovviamente anche la presenza di oscuramenti fissi contribuisce in maniera positiva nell'affrontare condizioni di discomfort presenti tutto l'anno (abbagliamento, surriscaldamento, esposizione agli agenti atmosferici, necessità di spazi esterni protetti, ecc. ...).

6.2 ANALISI PRELIMINARI ILLUMINOTECNICHE

Come già detto più volte nel corso di questa relazione, l'area di progetto si trova in una zona centrale della città di Milano, caratterizzata da una forte urbanizzazione. Il lotto in esame, infatti, si colloca in un vuoto urbano intorno al quale sono presenti edifici di circa cinque piani disposti a distanza ravvicinata sia frontalmente che in continuità dello stesso.

Questa ubicazione, influenza molto la percentuale di ombreggiamento che interessa il fabbricato che occuperà tale spazio, poichè non essendo in un'area libera da ostruzioni, si vedrà riddotta notevolmente la percentuale di radiazione e luce solare che lo potrà raggiungere.

Inoltre, la conformazione stessa dell'edificio, in cui è presente una corte centrale, potrebbe costituire una limitazione dell'illuminazione che raggiunge i prospetti affacciati su questo spazio interno.

Per queste ragioni sono state condotte diverse analisi che trattano queste problematiche, le quali verranno esplicate nel corso di questo paragrafo.

Sono state, inanzitutto considerate le ombre portate sui diversi prospetti del fabbricato in esame.

Verranno successivamente verificati gli elementi frangisole scelti considerando l'apertura maggiormente sfavorita, ovvero la più abbagliata di tutto l'edificio.

Infine si analizzerà il livello di illuminazione interna agli ambienti per l'appartamento più sfavorito e quindi maggiormente in ombra, ma anche per quello maggiormente illuminato per verificare eventuali fenomeni di abbagliamento.

6.2.1 ANALISI DELL'OMBREGGIAMENTO

Come appena spiegato, la collocazione dell'edificio in uno spazio fortemente denso di edifici, ha reso necessaria l'analisi dell'ombreggiamento delle diverse facciate del fabbricato in oggetto.

Di seguito si riporteranno le valutazioni effettuate tramite il Software Ecotect, dividendo i prospetti con diverso orientamento e trattando per ognuno di essi la condizione invernale (21 Dicembre), quella estiva (21 Giugno) ed infine il caso delle mezze stagioni (21 Marzo/Settembre) al fine di comprendere le variazioni delle condizioni durante il corso dell'anno.

Non si effettuerà un'analisi separata per il prospetto Nord, poichè esso non viene raggiunto dalla radiazione diretta durante il corso dell'anno se non in alcuni casi nelle prime ore del mattino, dato il proprio orientamento ruotato di circa 14° rispetto all'asse.

6.2.1.1 PROSPETTO SUD

L'edificio presenta due facciate rivolte a Sud, una corrispondente a quella rivolta verso la corte, quindi la più sfavorita, e la seconda che non presenta quasi nessuna ostruzione data da altri fabbricati.

Nella data del 21 Giugno, il prospetto Sud rivolto verso la corte, nonostante il sole sorga alle 4.45 del mattino, è interamente illuminato solo dalle 11.00. Le prime

ombre sullo stesso, compaiono, invece, al piano terra, alle 15.30 e si sviluppano poi verso l'alto nel corso della giornata fino a coprire tutto il prospetto alle ore 18.00.

L'altra facciata dell'edificio, rivolta a Sud, che ospita nella sua metà superiore dei pannelli fotovoltaici, già alle 9.30 è completamente illuminato e sebbene alle 12.45 la metà inferiore risulti tutta in ombra a causa della presenza di una tettoia verde, esso è completamente oscurato dopo le 18.00.

Nella giornata del 21 Dicembre, il sole compare dalle 8.15, poichè si sta considerando la giornata con il periodo di luce minore dell'anno.

La facciata rivolta verso la corte risulta quasi tutta illuminata dalle 12.15 in poi fino alle 14.30 quando appaiono su di essa le prime ombre che la coprono interamente alle 18.15.

Per quanto riguarda l'altro prospetto rivolto a Sud, nel momento in cui sorge il sole è già in luce per un quarto della sua dimensione. L'ombra si dirada velocemente poichè alle 8.45 esso risulta per metà illuminato ed alle 9.00 completamente in luce.

Alle 14.30 compaiono ombre nella metà inferiore che raggiungono la parte che presenta il fotovoltaico alle 15.45, per poi coprire tutta la facciata alle 16.45.

Il 21 Marzo/Settembre, infine, il sole sorge alle 6.30.

Il prospetto Sud più sfavorito presenta un completo illuminamento alle 12.15 ed alle 14.30 si notano comparire le prime ombre.

Esso risulta coperto dopo le 18.15.

Il prospetto maggiormente favorito, invece, già alle 8.00 è completamente illuminato fino alle 18.15 in cui nella metà inferiore compare l'ombra. Esso è del tutto oscurato alle 18.30.

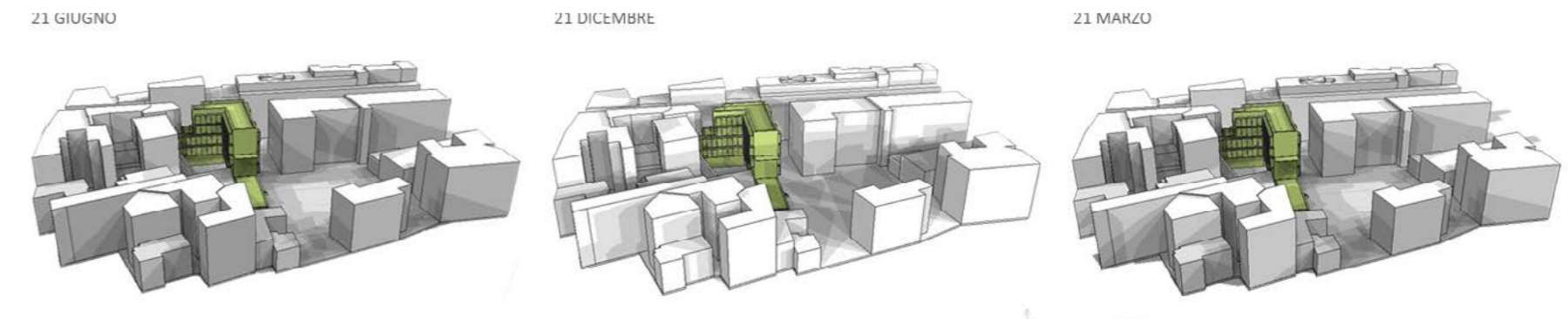


Fig.197 Ombreggiamento prospetto Sud in diversi momenti dell'anno ogni 90 minuti.

6.2.1.2 PROSPETTO EST

L'analisi del prospetto Est è molto interessante poichè è quello che presenta le cornici aggettanti che fungono da frangisole, visibili nei prospetti. Questa facciata risulta illuminata nel corso dell'anno nelle ore mattutine sebbene tenda ad essere oscurata dall'edificio collocato frontalmente ad essa. Gli orari in cui è in luce corrispondono o quelli in cui risulta oscurato il prospetto Ovest e viceversa.

Anche in questo caso si analizzano le tre giornate più significative dell'anno corrispondenti agli equinozi o solstizi delle diverse stagioni.

Nella data del 21 Giugno, nonostante il sole, come già detto, sorga alle 4.45, il prospetto non è illuminato fino alle 7.00, quando l'ultimo piano appare completamente in luce.

Alle 10.00 la facciata è del tutto illuminata, ma alle 13.00 è già ricoperta dall'ombra, dato il percorso del sole che comincia ad illuminare le parte centrale dell'edificio.

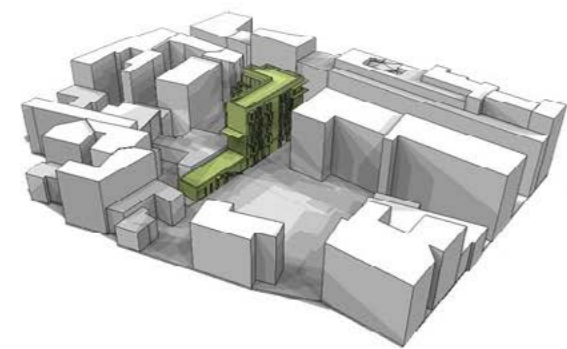
Il 21 Dicembre, dopo il sorgere del sole alle 8.15, dalle 9.30, la metà dell'edificio non direttamente fronteggiata dal fabbricato prima nominato, risulta in luce.

Successivamente, dalle 11.00 alle 13.00, la facciata è completamente illuminata, per poi risultare in ombra dalle 13.30 in avanti.

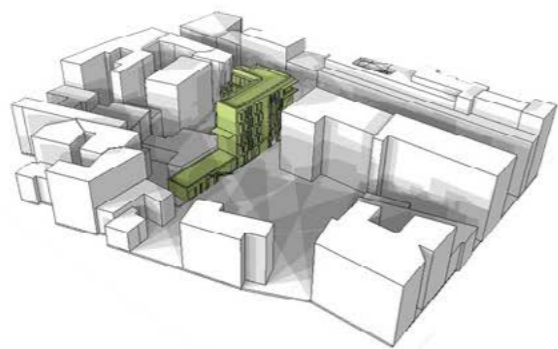
Nei giorni del 21 Marzo/Settembre, dopo il sorgere del sole alle 6.30, la parte della facciata senza ostruzioni appare illuminata già dalle ore 9.00.

Dalle 11.00, alle 13.00 è possibile vedere il totale soleggiamento del prospetto che non è più in luce da questo momento per tutto il resto della giornata.

21 GIUGNO



21 DICEMBRE



21 MARZO

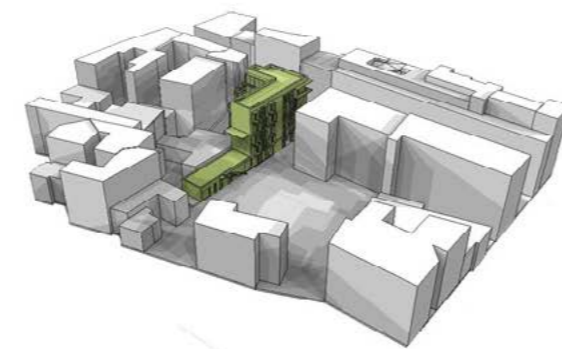


Fig.198 Ombreggiamento prospetto Est in diversi momenti dell'anno ogni 90 minuti.

6.2.1.3 PROSPETTO OVEST

Anche lo studio del soleggiamento, per quanto riguarda la facciata Ovest è interessante poichè essa è rivolta verso la corte interna e come il prospetto Sud è dotata di una vasta serra solare.

I periodi analizzati sono i medesimi considerati per i prospetti precedenti. Come già detto è interessante notare l'analogia con il prospetto Est che appare illuminato in momenti della giornata opposti a quelli della facciata ora esaminata.

Coerentemente a quanto già detto, nella data del 21 Giugno, il sole sorge alle 4.45, ma dato l'orientamento della facciata in oggetto, essa è illuminata solo dalle 13.25, quando invece la luce diretta scompare dal prospetto Est.

Alle 16.30 la parte inferiore della facciata, è invece parzialmente ombreggiata, mentre essa dalle 19.45 non è più investita dalla luce diretta.

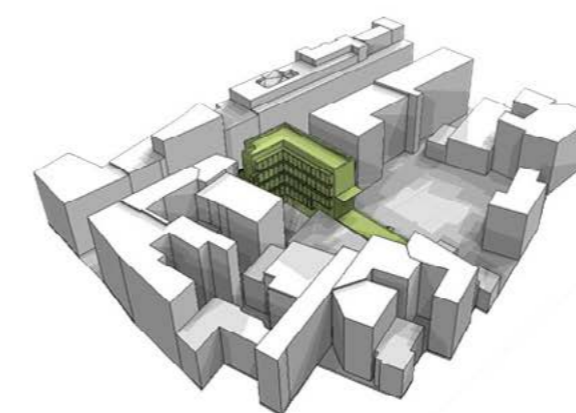
Nella giornata del 21 Dicembre, dalle 8.15 alle 13.30 il prospetto non è illuminato, mentre dalle 13.45, esso risulta in luce.

Alle 14 .00 appaiono le prime ombre nella parte inferiore ed alle 16.45 esso è del tutto senza luce.

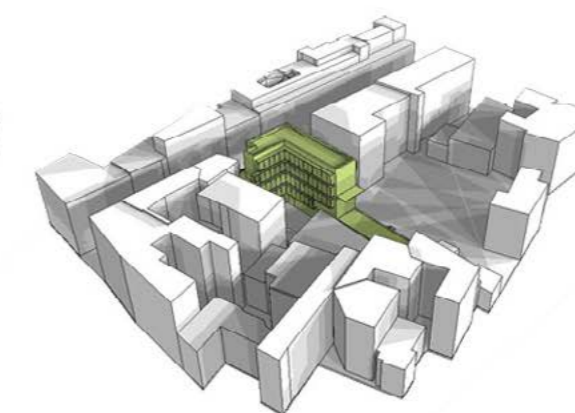
Il 21 Marzo/Settembre, sorto il sole alle 6.30, la luce raggiunge il prospetto solo alle 13.15, momento dopo il quale esso è quasi tutto illuminato.

Le prime ombre investono tale facciata alle 15.45, per coprirla completamente alle 18.30.

21 GIUGNO



21 DICEMBRE



21 MARZO



Fig.199 Ombreggiamento prospetto Est in diversi momenti dell'anno ogni 90 minuti.

6.2.2 VERIFICA DEGLI ELEMENTI FRANGISOLE

Una delle peculiarità dell'edificio è la presenza di elementi a cornice sulle finestre del modulo "Cucina-Bagno". Tali elementi non sono adibiti a balcone e variano per quanto riguarda la misura di aggetto tra il prospetto Nord (dove sono quasi inesistenti) ed il prospetto Est. La scelta di mantenere questa variazione deriva dal fatto che, in quest'ultimo caso, la cornice deve proteggere la finestra che essa circonda, dalla radiazione solare per evitare il surriscaldamento estivo, cosa che non è necessaria a Nord dove risulta invece auspicabile la captazione della maggior luce diffusa possibile per avere un buon illuminamento.

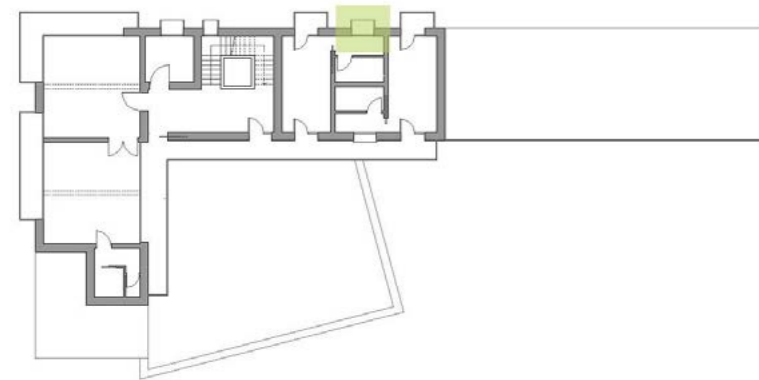


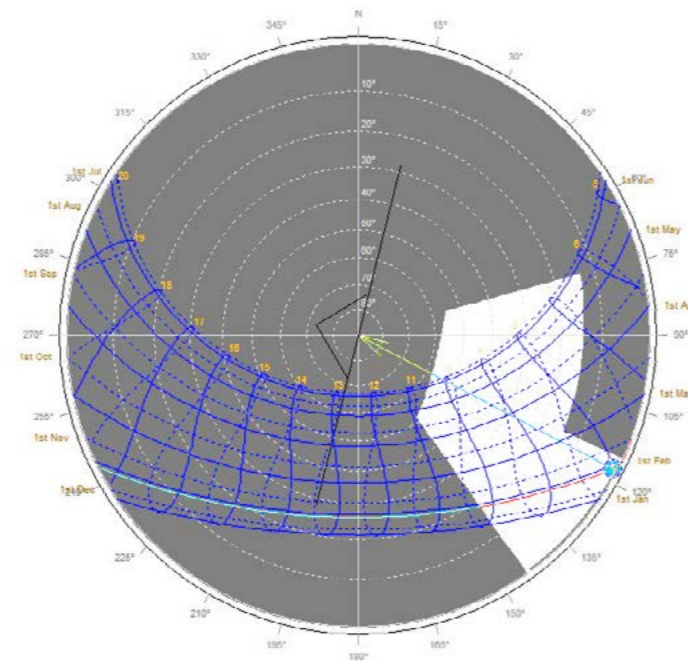
Fig.200 Finestra considerata per la verifica della sporgenza dei frangisole.

La sporgenza delle cornici nel prospetto Est risulta di 50 cm oltre la facciata.

Di seguito si verifica tramite l'utilizzo del software Ecotect, che tale oggetto sia sufficiente a schermare la finestra considerata.

E' stata scelta, innanzitutto, la finestra maggiormente irradiata, ovvero quella rivolta ad Est posta all'ultimo piano delle residenze riportata in Figura 200.

Tale finestra risulta maggiormente sfavorita poiché è meno soggetta alle ostruzioni date dai fabbricati frontali all'edificio in esame. Tramite il software Ecotect è stato possibile ottenere il percorso solare e la variazione di ombreggiamento sulla finestra durante il corso dell'anno riportati nel grafico sottostante.



Graf.45 Diagramma del percorso solare.

Le aree campite con il colore grigio rappresentano il periodo di ombreggiamento, quelle bianche evidenziano la data e l'orario in cui la finestra appare colpita dalla radiazione solare.

Dal grafico appena spiegato, si può capire come, essendo rivolta ad Est, la superficie presa in esame risulta raggiunta dalla luce del sole solamente nelle ore del mattino ed, in particolare, sempre prima delle 11.00. Questo fatto risulta vantaggioso per le condizioni di comfort interne, poiché tale situazione non è corrispondente al picco delle temperature giornaliere.

Allo stesso tempo vengono quindi definiti i momenti dell'anno critici in cui valutare le percentuali di ombreggiamento nel corso delle ore della giornata.

Si sceglie quindi di analizzare le condizioni di ombreggiamento nelle date dell' 1 Maggio e 1 Agosto.

Tramite lo stesso software si ricavano le percentuali di ombreggiamento in entrambe le giornate riportate nella tabella.

Tab.46 Percentuale di ombreggiamento.

1 MAGGIO		1 AGOSTO	
ORA	OMBREGGIAMENTO	ORA	OMBREGGIAMENTO
%		%	
6.00	100%	6.00	93%
7.00	63%	7.00	73%
8.00	54%	8.00	54%
9.00	35%	9.00	49%
10.00	58%	10.00	46%
11.00	89%	11.00	79%
12.00-17.00	100%	12.00-17.00	100%

Dai dati ottenuti si comprende che la finestra non risulta mai completamente soleggiata, e si è quindi ritenuto che l'aggetto scelto risulti sufficiente.

A lato, si riporta inoltre il diagramma della percentuale di cielo non oscurato dai frangisole, relativo alla finestra in esame che conferma mensilmente i valori trovati in precedenza.

Qui, è possibile notare come nei mesi invernali ed autunnali (da Settembre ad Aprile), sia presente una percentuale di cielo visibile maggiore nelle ore centrali della giornata. Questo è un dato positivo per quanto riguarda la captazione di guadagni di calore gratuiti, poiché tale periodo dell'anno è proprio quello in cui risulta auspicabile un'aumento di tale contributo positivo.

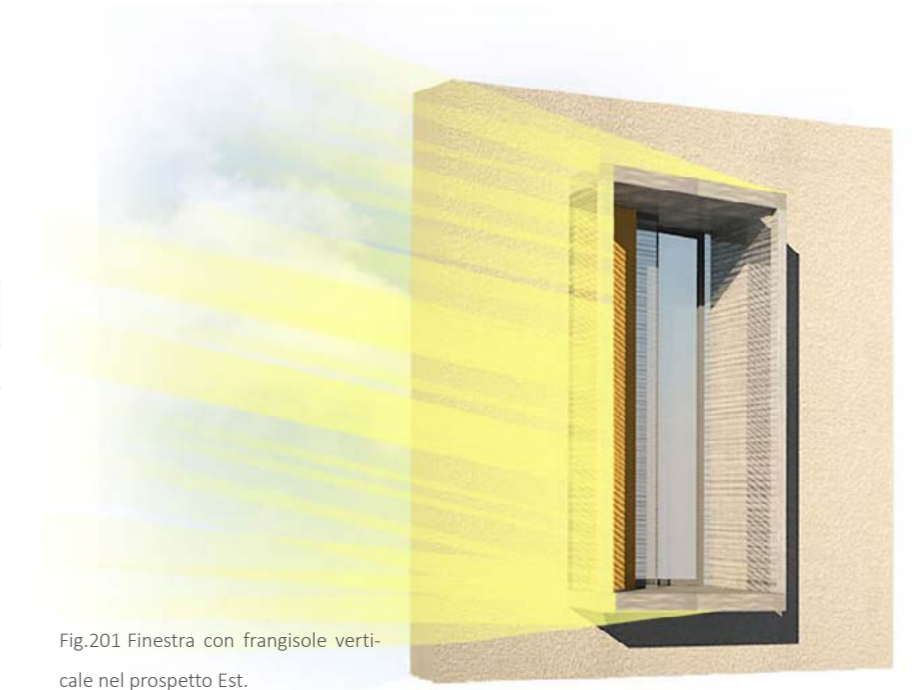
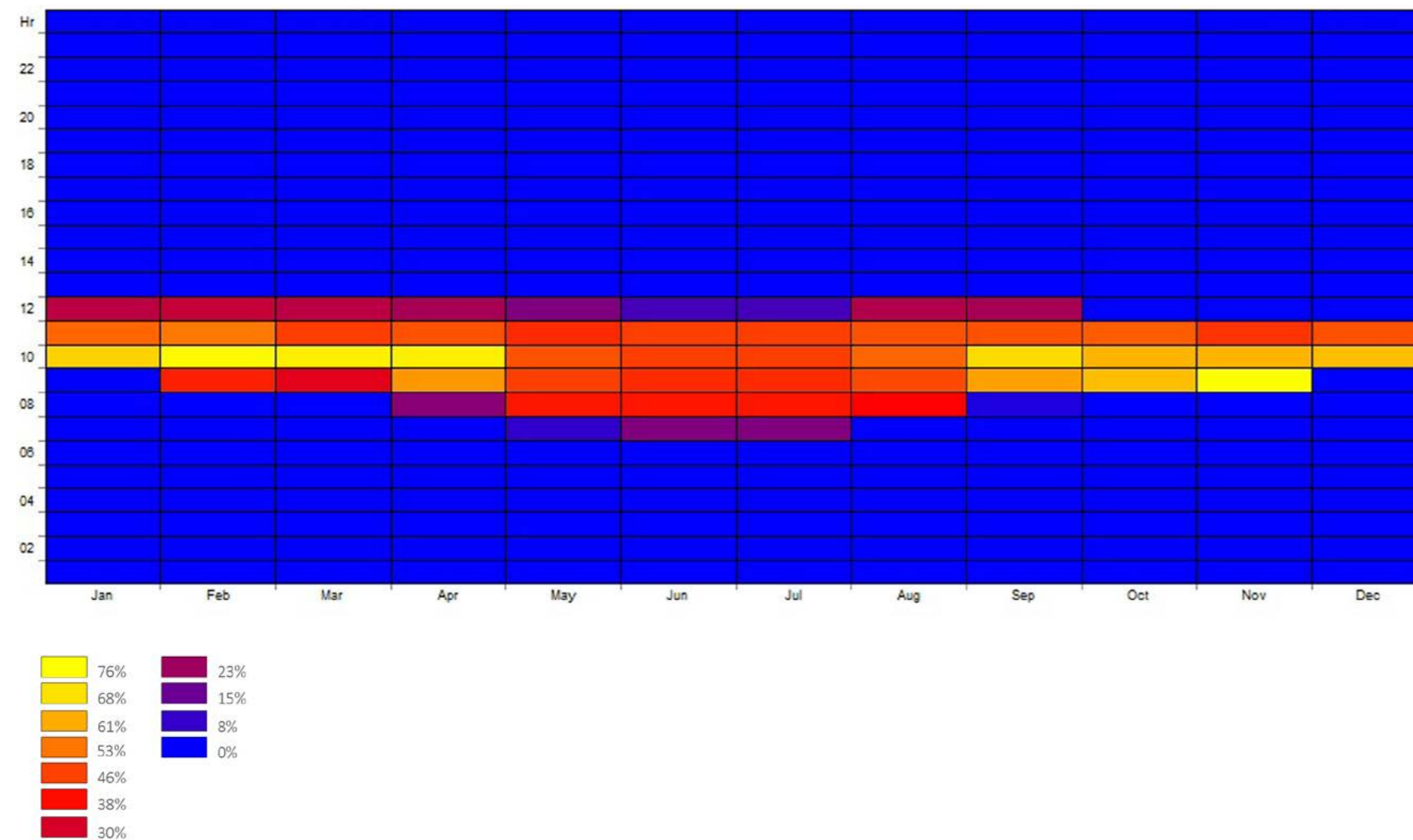


Fig.201 Finestra con frangisole verticale nel prospetto Est.



Graf.46 Grafico della percentuale di cielo scoperto media giornaliera mensile per la finestra in esame.

6.2.3 FATTORE DI LUCE DIURNA ED ILLUMINAMENTO

La quantità di luce naturale che penetra all'interno dell'edificio in oggetto, è influenzata dalla presenza delle cornici sulla facciata. Esse fungono da veri e propri elementi di protezione di radiazione solare e da estensione dello spazio atto allo stesso tempo a garantire la privacy dei residenti.

Nel progetto presentato per il Concorso Premio Compasso Volante, esse erano superfici piene ma ciò poteva risultare problematico sia per la mancanza di illuminamento che causavano, sia poiché esse limitavano la visuale esterna.

Per risolvere tali problematiche all'interno del presente progetto, è stato scelto di trasformare le cornici in elementi più forati, composti da una maglia metallica che permette visibilità, passaggio della luce ma allo stesso tempo garantisce protezione dai raggi e solari e senso di privacy per gli utenti.

E' stato, effettuato un confronto tra la soluzione iniziale e la presente tramite il programma DayLight Visualizer per l'appartamento più sfavorito e più favorito.

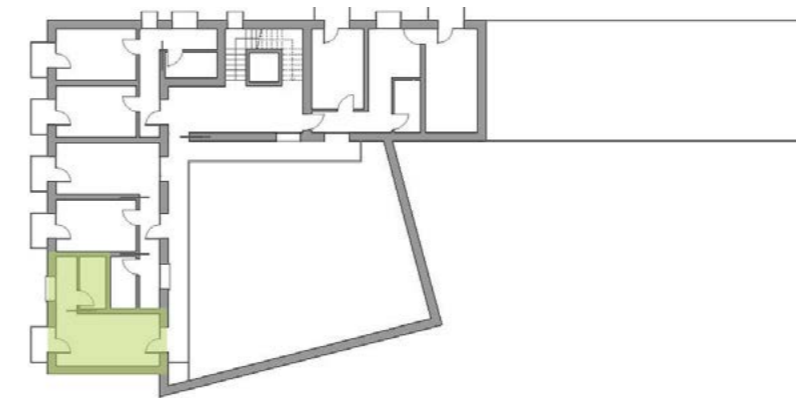


Fig.202 L'appartamento più sfavorito.

6.2.3.1 APPARTAMENTO SFAVORITO

L'appartamento maggiormente problematico dal punto di vista dell'illuminamento naturale, risulta quello posto nella stecca Nord-Sud al primo piano dell'edificio riportato in Figura 202.

Esso è considerato il più svantaggiato in questo ambito poiché la sua finestra principale è rivolta verso Nord, dove non è presente luce diretta in nessun momento dell'anno o della giornata.

Esso è inoltre situato nel piano di residenze più basso e quindi più difficilmente raggiunto dalla luce, ulteriormente limitata dalla presenza della cortina stradale opposta a pochi metri.

FATTORE DI LUCE DIURNA

Il fattore di luce diurna medio minimo richiesto da normativa è del 2%.

Avendo degli ambienti lunghi 6 m con la finestra principale unicamente da un lato, può risultare problematico garantire il livello di illuminamento richiesto in tutti i punti della stanza. La presenza di una porta di ingresso in vetro satinato, opposta all'apertura sopra detta, è positivo, poiché apporta un ulteriore contributo di luce naturale, sebbene minore.

Nelle pagine seguenti si riportano le immagini estrapolate dal programma, nel caso delle cornici sia forate che permeabili.

Dalla figura si può notare come il requisito risulti soddisfatto in tutti i punti dell'appartamento nel caso degli elementi forati. Ciò non avviene nel caso delle cornici piene, dove il livello di illuminamento risulta scarso o comunque minore rispetto al caso precedente. Si verifica così come il cambiamento apportato nel progettoo abbia un riscontro positivo a livello di dati.

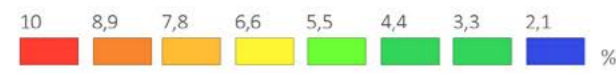
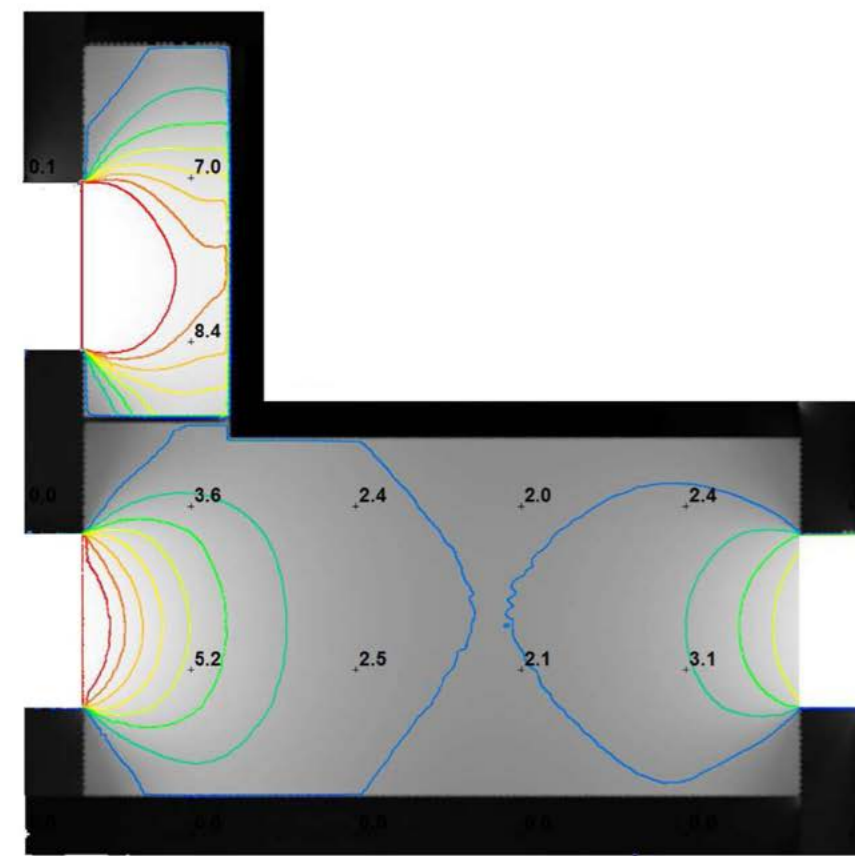


Fig.203 FLD: cornice forata.

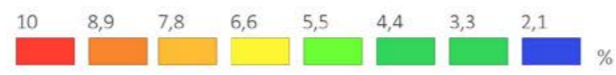
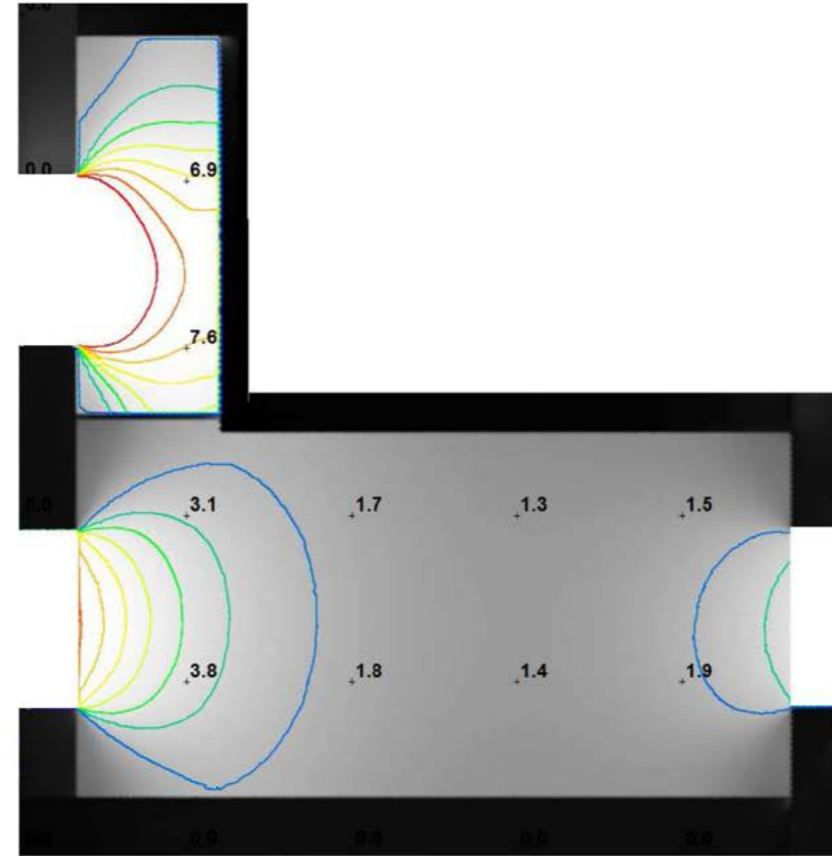


Fig.204 FLD: cornice piena.

ILLUMINAMENTO

Per lo stesso appartamento è stata effettuata un'analisi sui livelli di illuminanza all'interno degli ambienti distinguendo nuovamente il caso della cornice permeabile e della cornice piena.

Trattandosi di una camera da letto i valori di illuminamento minimi consigliati sono dai 100 a 150 lux con punti luce dai 200 ai 500 lux per quanto riguarda le zone di lettura.

Le simulazioni sono state effettuate per la giornata del 21 Dicembre alle 12.00, considerato il giorno dell'anno in cui la radiazione solare risulta più scarsa.

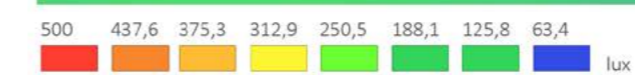
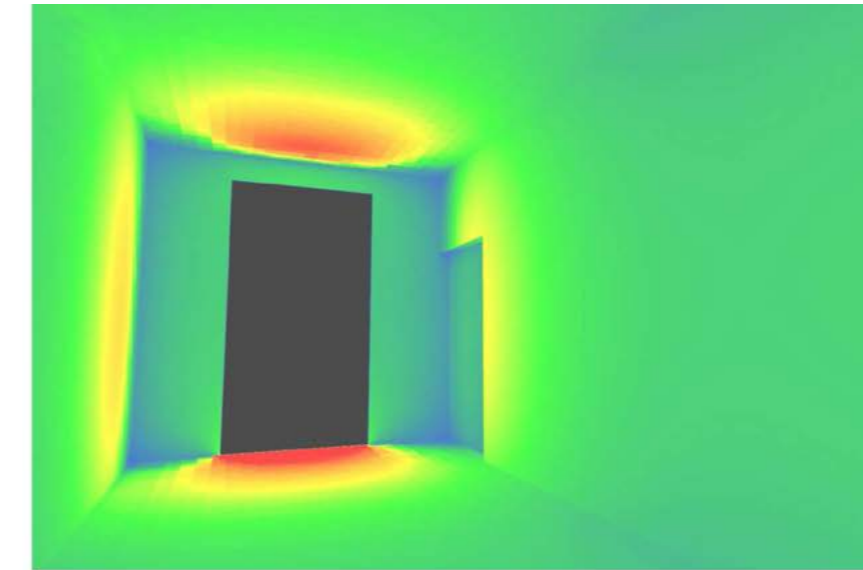


Fig.205 Illuminamento: cornice forata.

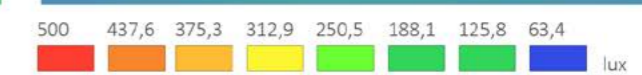
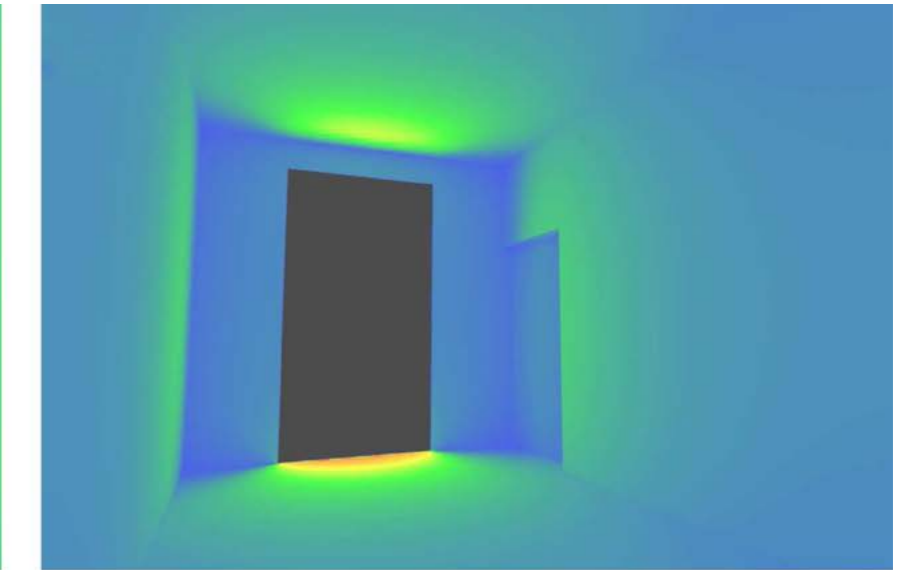


Fig.206 Illuminamento: cornice piena.

Nel caso della stanza con cornice forata, il livello di illuminamento consigliato è raggiunto in tutti i punti e la zona più vicina alla finestra, proprio quella dove si trova il luogo di lettura, presenta un livello di illuminamento maggiore e sufficiente alla funzione lì svolta.

Ciò si può notare dall'immagine di seguito riportata.

Nel caso della cornice piena, il passaggio di luce è notevolmente diminuito, portando ad un'illuminazione scarsa e non sufficiente alla funzionalità ed al comfort dell'ambiente.

6.2.3.2 APPARTAMENTO FAVORITO

L'appartamento meno problematico dal punto di vista dell'illuminamento naturale, è, invece, quello posto nella stecca Est-Ovest all'ultimo piano dell'edificio riportato in Figura 207.

Esso è considerato il più avvantaggiato poiché, rispetto a tutti quelli nella stecca Nord-Sud, ha la finestra principale rivolta ad Est, e quindi per parte della giornata riceve luce naturale diretta.

Esso si trova inoltre nell'ultimo piano dell'edificio e non presenta ostruzioni date dagli edifici della cortina stradale ad esso frontale, poiché in quel punto mancanti.

Anche per questo appartamento si confrontano i due casi analizzati in precedenza, ovvero la differenza del livello di illuminazione nel caso di cornice piena e cornice forata.

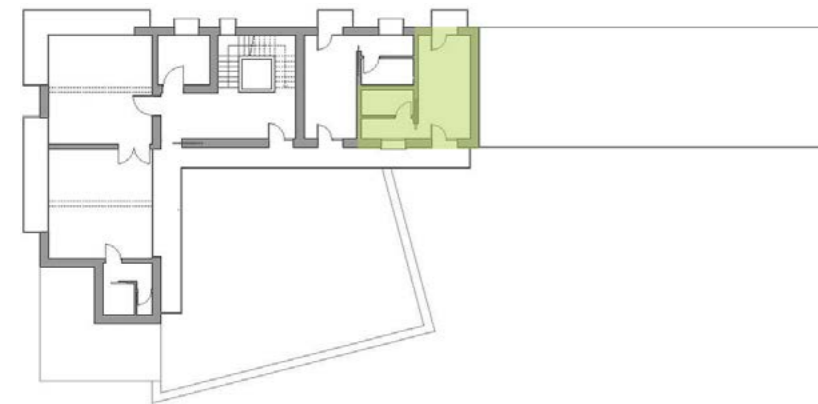


Fig.207 L'appartamento più favorito.

FATTORE DI LUCE DIURNA

Anche in questo caso si verifica che il FLD medio minimo richiesto da normativa, ovvero 2%, sia soddisfatto e che allo stesso tempo, trattandosi dell'appartamento più illuminato, non si verificano fenomeni di abbagliamento.

È necessario considerare tale problematica poiché può essere riscontrabile con fattori di luce diurna di molto superiori al 7%. In tal caso è necessario prevedere tende interne o frangisole mobili, già comunque presenti all'interno dell'edificio in esame per questione di privacy, trattandosi di residenze.

Anche in questo appartamento, la presenza di una porta di ingresso in vetro satinato, opposta all'apertura principale rivolta ad est, apporta un ulteriore contributo di luce naturale.

Dall'immagine di seguito, riferita alla presenza di cornici permeabili si evince che, rispetto all'appartamento sopra analizzato è presente un aumento dell'FLD senza superare però i livelli di abbagliamento.

Dalla figura si può inoltre notare, che anche nel caso della cucina, la quale presenta soltanto un'apertura in vetro satinato rivolta verso la serra solare, il livello di illuminamento medio risulta adeguato.

Come già detto, si confronta poi il caso appena menzionato con quello relativo alla presenza di cornici piene.

Dall'immagine accanto a quella descritta, che rappresenta questa situazione, si può osservare che l'illuminamento minimo non è raggiunto in tutti i punti dell'appartamento e che i valori risultano minori rispetto al caso precedente.

Prima di ritenere che le scelte progettuali fatte, siano del tutto verificate, è necessario anche analizzare come nel caso precedente i livelli di illuminamento in entrambi i casi oggetto di questo studio.

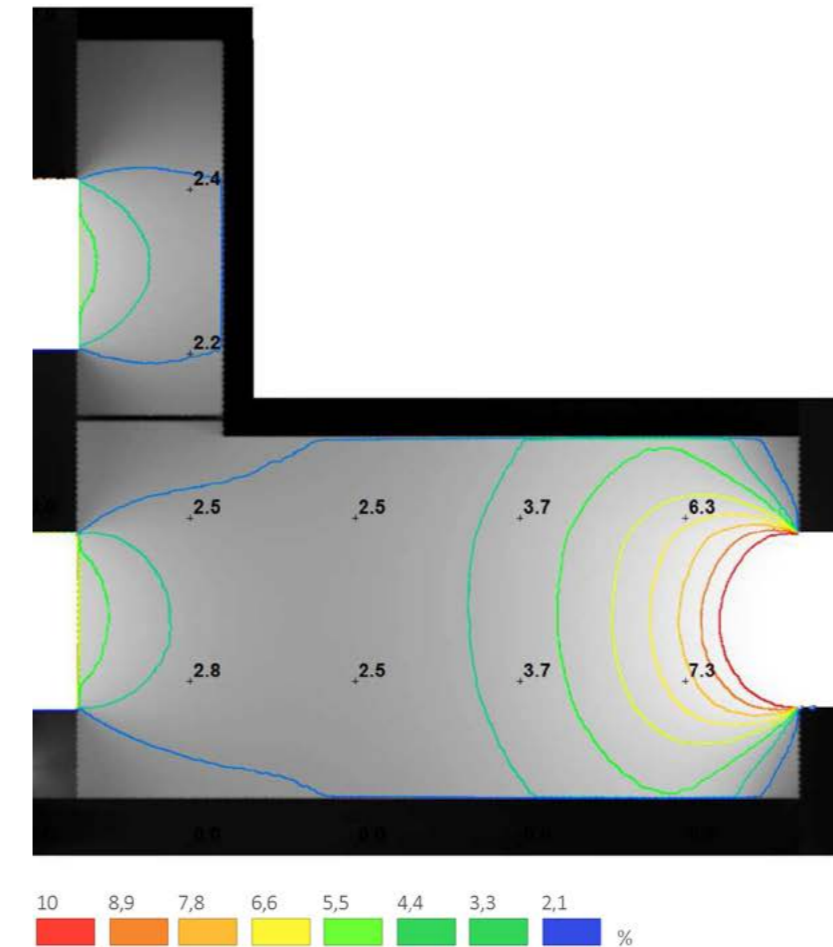


Fig.208 FLD: cornice forata.

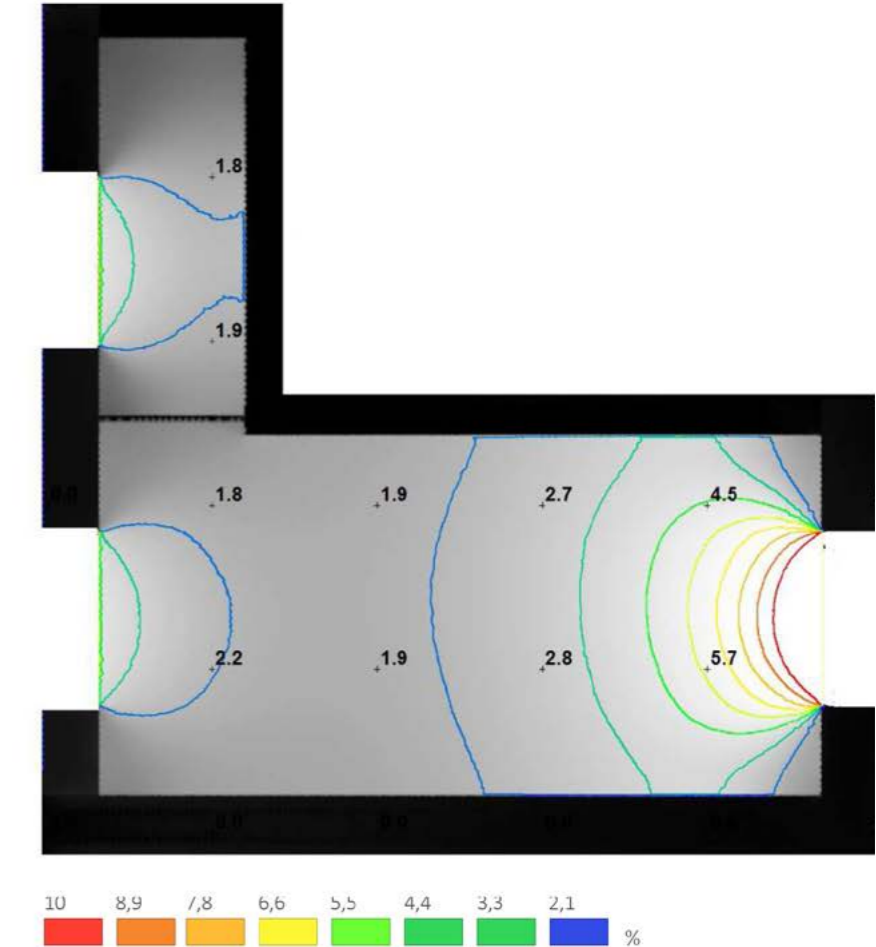
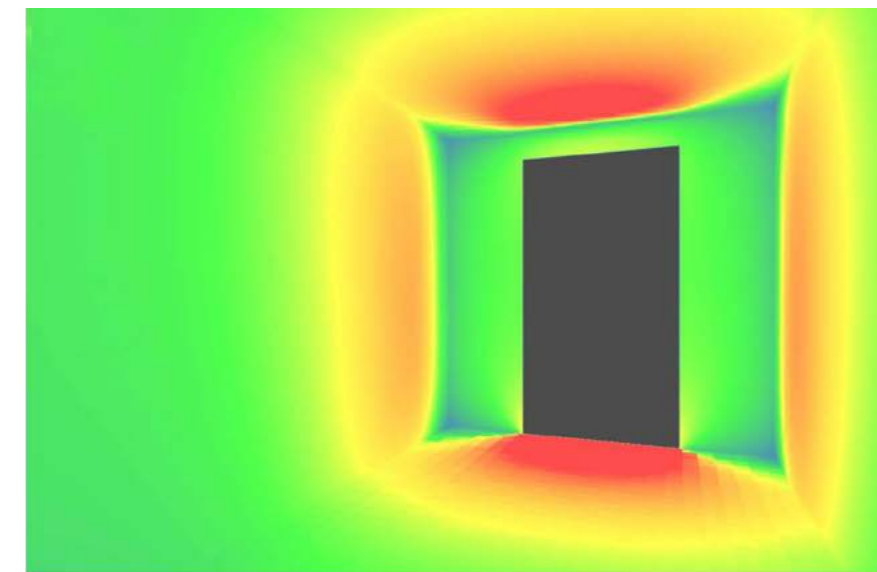


Fig.209 FLD: cornice piena.

ILLUMINAMENTO

Come per l'appartamento precedente, è stata quindi effettuata un'analisi sui livelli di illuminanza all'interno degli ambienti per entrambi i tipi di cornice.

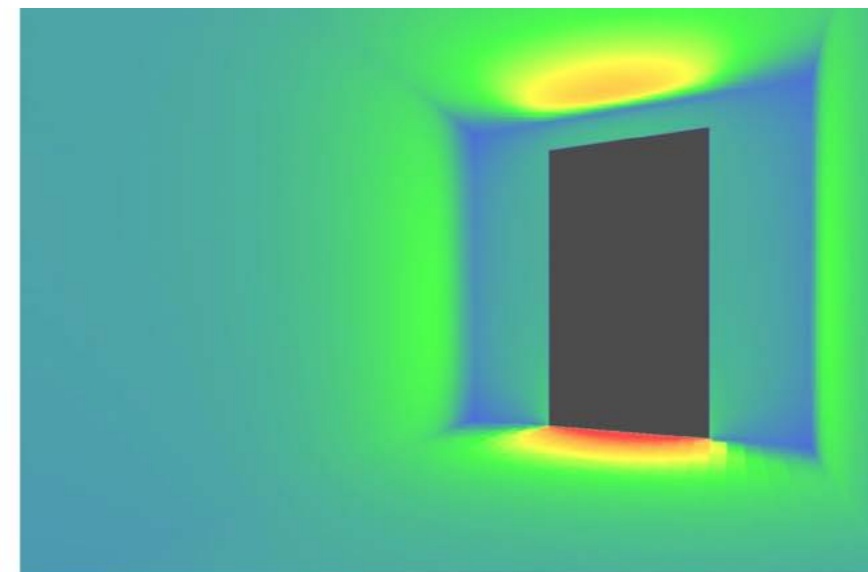
Considerando i parametri di comfort sopra citati, le condizioni risultano ancora più ampiamente soddisfatte nel caso della stanza con cornici forata. In particolare, essendo l'appartamento in esame meglio esposto rispetto al precedente, nella zona di lettura si arriva fino a 500 lux.



500 437,6 375,3 312,9 250,5 188,1 125,8 63,4 lux
Fig.210 Illuminamento: cornice forata

L'immagine di seguito riporta la distribuzione di illuminamento nella stanza nel caso della cornice forata, e successivamente nel caso di stanza con cornice non permeabile in cui il livello di comfort visivo atteso non è raggiunto, sebbene l'illuminamento risulti maggiore rispetto all'appartamento rivolto a Nord.

Dall'immagine si può notare che nella zona lettura sono a malapena raggiunti i 250 lux richiesti e che nel resto della stanza l'illuminamento risulti scarso.



500 437,6 375,3 312,9 250,5 188,1 125,8 63,4 lux
Fig.211 Illuminamento: cornice piena.

6.3 SOLUZIONI IMPIANTISTICHE

Nel presente capitolo si esplicheranno i diversi aspetti del sistema impiantistico dell'edificio in esame. L'obiettivo è di predimensionare in maniera realistica i vari elementi che lo compongono al fine di ottenere una verifica di fattibilità delle scelte fatte. Infine verrà trattato l'aspetto concreto di costruibilità, legato alla modularità ed alla prefabbricazione delle parti che compongono il fabbricato.

Come già detto, nell'edificio, però, sono state predilette le strategie passive di captazione e conservazione dell'energia, mediante una buona progettazione plimettrica, tecnologica e tramite elementi di protezione per quanto riguarda le problematiche estive di surriscaldamento.

L'inserimento degli impianti completano il quadro globale di un edificio già bene funzionante, in cui la poca energia richiesta è coperta mediante essi, che devono garantire un buon grado di efficienza per non compromettere il funzionamento di quantoprogettato.

6.3.1 IL CONCEPT IMPIANTISTICO

E' necessario prima di tutto descrivere l'organizzazione generale del sistema impiantistico, definendone le varie parti.

L'elemento che produce l'energia termica e frigorifera per tutto l'edificio, è una pompa di calore aria-acqua di tipo polivalente. Essa produce riscaldamento e acqua calda sanitaria durante l'inverno, mentre si inverte in fase estiva, permet-

tendo il raffrescamento ma anche la produzione contemporanea di acqua calda sanitaria.

Quest'ultima, in realtà, viene prodotta anche da pannelli solari termici sotto vuoto per larga parte del fabbisogno (ne verrà verificata all'interno del capitolo la percentuale).

Per quanto riguarda le condizioni di comfort termico all'interno delle residenze in entrambe le stagioni, sono garantite da un sistema di pannelli radianti connessi alla stessa pompa di calore, mentre gli ambienti ad uso comune o pubblico, vengono climatizzati tramite unità di trattamento dell'aria con recupero di calore.

La scelta di operare un distinzione di impianto deriva dal fatto che, in questi ultimi ambienti, è necessario un controllo anche del comfort legato ai carichi latenti e all'umidità, data la presenza di un numero di persone maggiore.

Infine, per aumentare la prestazione dell'impianto, le residenze sono state dotate di ventilazione meccanica controllata, anch'essa con recupero di calore e con pretrattamento dell'aria di tipo geotermico, sia in estate che in inverno.

L'energia elettrica necessaria alla pompa di calore, per gestire il sistema, viene in parte coperta da pannelli fotovoltaici, al fine di sfruttare il più possibile fonti sostenibili.

Coerentemente all'idea di avere il minor impatto ambientale possibile, viene introdotto anche un serbatoio di accumulo delle acque piovane per sopperire parte del fabbisogno di wc, lavatrici e irrigazione.

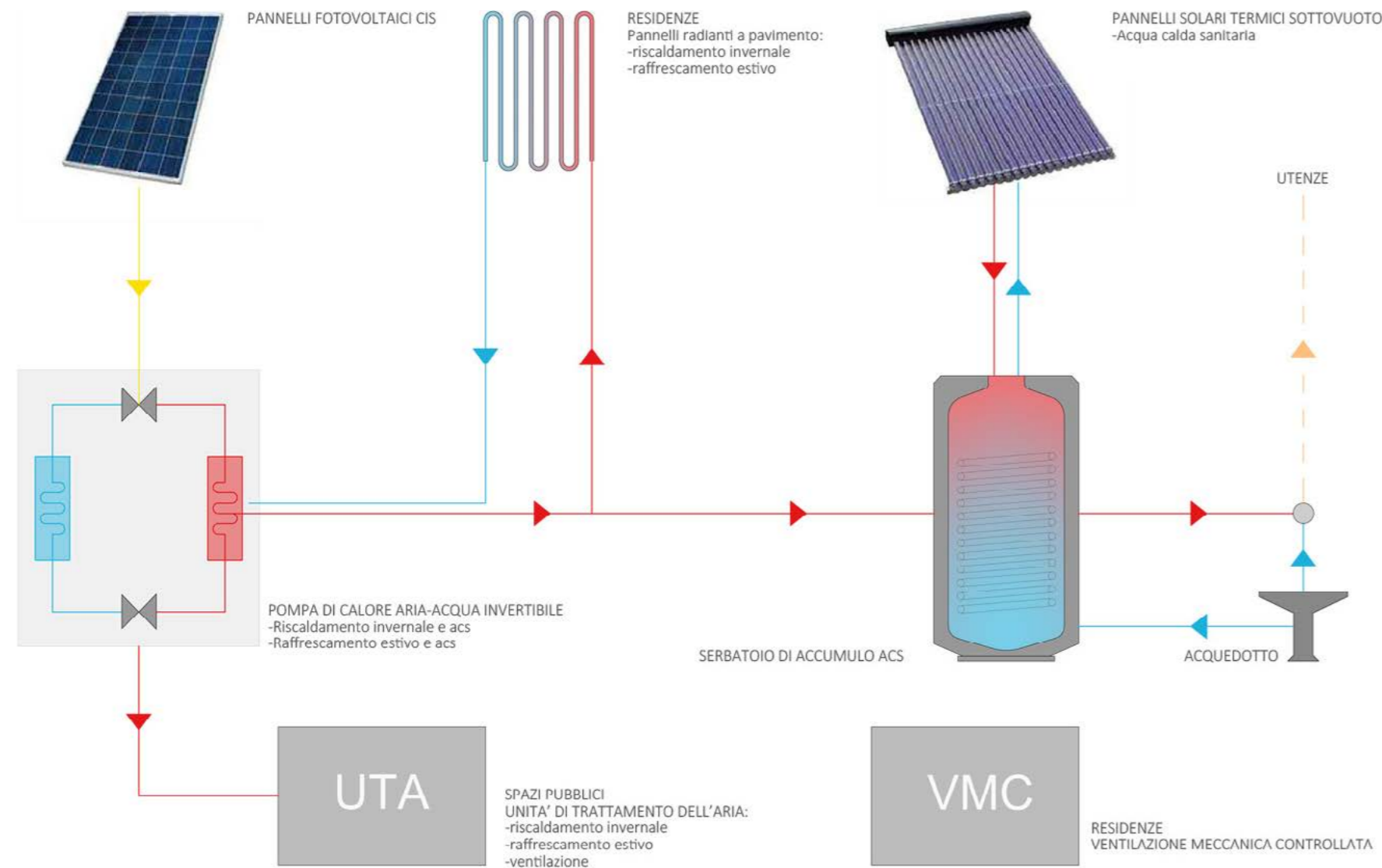


Fig.212 Schema generale del funzionamento impiantistico.

6.3.2 IL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE

Già nella fase di progettazione architettonica è stato considerato questo l'aspetto della distribuzione dei flussi impiantistici all'interno dell'edificio.

Il sistema si basa su tre colonne principali che attraversano tutti e sette i piani del fabbricato, a cui ne viene aggiunta una ulteriore per la parte della costruzione che presenta solo un livello fuori terra. All'ultimo piano interrato, queste colonne, vengono connesse orizzontalmente al locale impianti.

Quest'ultimo è stato collocato su due livelli, nella parte Sud più estrema dell'edificio, sia per la possibilità di avere un accesso indipendente sia per essere isolato il più possibile a livello acustico, allontanandolo in particolare dalla parte delle residenze.

Tale vano tecnico, è come detto suddiviso in due livelli: quello superiore, coperto da un grigliato ospita la pompa di calore di tipo silenziato, che ha necessità di essere in contatto con l'aria esterna; quello inferiore ospita i restanti elementi che compongono il sistema impiantistico.

Nei capitoli successivi verranno definite delle dimensioni plausibili di tutte le macchine termiche e degli altri elementi che si collocano nel locale impianti, al fine di dimostrare che lo spazio riservato ad essi risulta plausibile, considerando anche gli spazi di sicurezza e manutenzione richiesti dai produttori.

Infine, poiché le singole utenze hanno la possibilità di controllare le proprie condizioni di comfort, è necessario considerare il posizionamento del sistema di contabilizzazione, che deve essere facilmente leggibile, senza dover necessariamente entrare nelle residenze. Si è quindi scelta una contabilizzazione a distanza con possibile lettura nello stesso vano impianti, data l'impossibilità di porre le colonne nelle chiusure esterne per motivi di spessore massimo delle stesse.

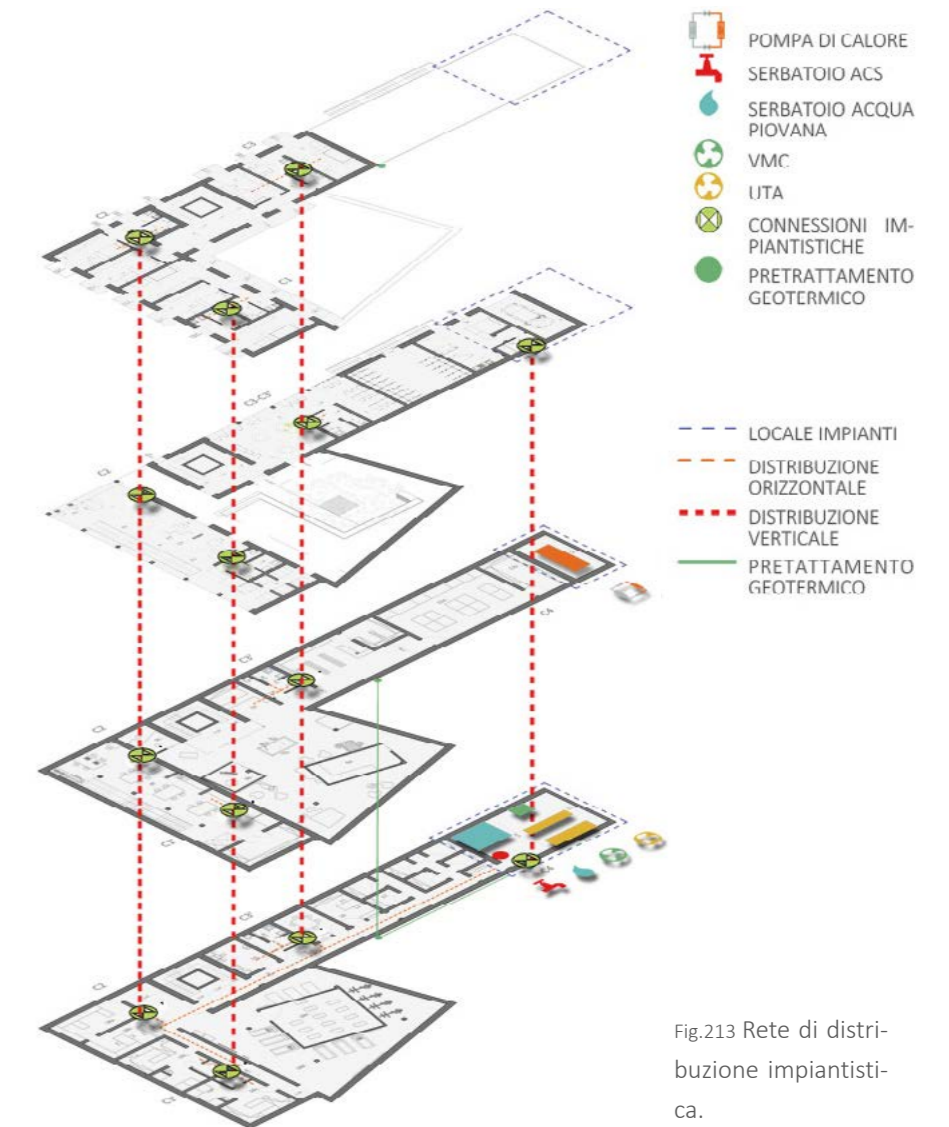


Fig.213 Rete di distribuzione impiantistica.

6.3.3 IMPIANTO SOLARE TERMICO

Dove non praticabile, la copertura dell'edificio ospita l'impianto di pannelli solari termici.

La normativa stabilisce che almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria debba essere coperto attraverso questa fonte di energia rinnovabile.

Per verificare ciò, è necessario valutare il fabbisogno giornaliero dell'edificio. L'area necessaria a coprire tale quantità dovrà essere minore o uguale all'area di copertura disponibile.

Considerando la tabella seguente, che fornisce i valori di consumo giornaliero per persona per diverse tipologie di edificio, si ottiene la portata giornaliera di acqua calda sanitaria del caso analizzato.

Tab.47 Consumo giornalieri di acs per tipologia di edificio.

TIPO UTENZA	PORTATA MEDIA	DA-A
	l/pg	l/pg
HOTEL (***_*****)	80	80-150
COLONIA, COLLEGIO	20	15-30
STUDENTATO	25	15-60
CUCINA-COLAZIONE	2	2-3
CUCINA-PRANZO,CENA	5	4-8
BAGNO PUBBLICO/PRIVATO	40/20	-
CENTRI SPORTIVI-TOTALE	-	35-50
CENTRI SPORTIVI-DOCCE	25	20-30

Nel caso specifico dell'edificio considerato si ha:

Tab.48 Consumo medio giornaliero di acs.

TIPO UTENZA	PORTATA	n°	PORTATA TOT.
	l/gp	p	l/g
Studentato	40	22	880
Palestra	40	30	1200
Bagni pubblici	40	9	360
Cucina comune	6	10	60
TOT		l/g	2500

Viene quindi calcolato il fabbisogno di calore giornaliero Q per acqua calda sanitaria tramite la formula

$$Q = \frac{P_g C_p \Delta T}{3600}$$

Dove:

Q è il fabbisogno di calore da trovare;

P_g è la portata totale giornaliera sopra calcolata;

C_p è la capacità termica specifica dell'acqua;

ΔT è la differenza di temperatura tra acqua calda T_c e acqua fredda sanitaria T_f .

Tab.49 Fabbisogno di calore giornaliero per acs.

P_g	C_p	T_c	T_f	ΔT	Q
l/g	kJ/kgK	°C	°C	°C	kWh/g
2500	4,2	48	10	38	110,83

Per calcolare quindi l'area necessaria a produrre tale quantità di energia si utilizza la formula:

$$A_{st} = \frac{365 Q SD}{H \eta_{evc}}$$

In cui:

Q è il fabbisogno di calore giornaliero sopra calcolato;

H è l'irraggiamento medio sulla superficie calcolato tramite il sito web del "Photovoltaic Geographical Information System";

η_{sys} è il rendimento medio del sistema;

SD è la quota di fabbisogno da coprire con l'impianto solare termico, ovvero 50% per normativa.

Tab.50 Area di pannelli solari necessaria (50%).

Q	H	η_{SYS}	SD		A_{st}
kWh/g	KWh/m2a	%	%	g/a	m ²
110,83	1469,62	0,65	0,50	365,00	21,17

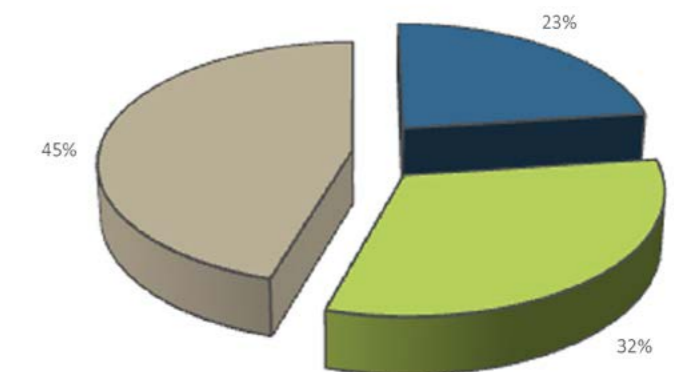
Poiché l'area della copertura di circa 230 m², che è molto maggiore rispetto a quella necessaria per coprire il 50% del fabbisogno, è possibile pensare di avere una superficie di collettori solari tale da produrre tutto il calore necessario.

Tab.51 Area di pannelli solari necessaria (100%).

Q	H	η_{SYS}	SD		A_{st}
kWh/g	KWh/m2a	%	%	g/a	m ²
110,83	1469,62	0,65	1,00	365,00	42,35

Da tale calcolo si evince che è presente ulteriore superficie di copertura disponibile, utilizzabile per l'installazione di pannelli fotovoltaici integrativi a quelli posti verticalmente sulla facciata Sud. E' comunque necessario considerare che tale valore è basato su una media annua, e che quindi la produzione potrebbe non essere equamente distribuita durante tutto l'anno, data la mancanza di soleggiamento durante l'inverno e l'aumento dello stesso nel periodo estivo. Il dimensionamento fatto fornisce un valore di massima per scegliere la dimensione dell'area da dedicare a pannelli solari termici; si prevede comunque una fonte alternativa di produzione dell'acqua calda sanitaria, ovvero una pompa di calore che entrerà in gioco solo nei momenti in cui il solare termico dovesse venire a mancare di prestazioni.

■ SOLARE TERMICO
■ FOTOV. VERTICALE
■ FOTOV. COPERTURA



Graf.47 Percentuale di superficie coperta dai vari tipi di pannelli.

6.3.4 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

6.3.4.1 FACCIATA SUD

Come precedentemente anticipato, la facciata Sud dell'edificio maggiormente esposta, ovvero quella che non presenta l'aggiunta di serre solari, è coperta per più del 50% della sua superficie di pannelli fotovoltaici.

Essi vengono utilizzati per coprire parte del fabbisogno di energia elettrica della pompa di calore.

Per il calcolo dell'energia elettrica prodotta durante l'anno dall'impianto così predisposto, viene utilizzata la formula: $E_{pv} = \eta_{pv} A_{pv} H$

Dove:

η_{pv} è l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico e dipende dalla tipologia di pannelli usati;

A_{pv} è l'area occupata dall'insieme dei moduli, in questo caso 58 m²;

H è l'irradiazione solare annua incidente sulla superficie dei pannelli.

In riferimento al parametro η_{pv} , nel caso trattato, è stata scelta un modello di fotovoltaico CIS in rame, indio e selenio, fornito di tipo STO perchè abbinabile alle lastre porta intonaco già utilizzate nel resto delle facciate; per questo tipo di tecnologia, è possibile avere un rendimento del 12,6%, quindi $\eta_{pv} = 0,126$. Questo dato indica che solo circa il 13% dell'energia solare captata, viene trasformata in energia elettrica.

Per quanto riguarda la valutazione dell'irradiazione solare annua incidente sulla

parete, è stata calcolata tramite il Software Ecotect. Tale prospetto dell'edificio risulta adatto per l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica poiché è rivolto a Sud e non viene ombreggiato durante il giorno, data l'assenza di edifici immediatamente adiacenti.

I valori restituiti dal software sono:

Tab.52 Irradiazione media mensile incidente.

MESE	H _{mens}	MESE	H _{mens}
	Wh/m ²		Wh/m ²
GENNAIO	29242	LUGLIO	218493
FEBBRAIO	50844	AGOSTO	161340
MARZO	85236	SETTEMBRE	113259
APRILE	127175	OTTOBRE	62880
MAGGIO	176837	NOVEMBRE	31959
GIUGNO	160571	DICEMBRE	22938

Al fine di ottenere il valore di irradiazione totale, sono stati sommati i valori mensili, ottenendo H=1240774 Wh/m²a=1240,8 kWh/ m² a.

E' inoltre necessario considerare l'angolo di inclinazione dei pannelli, ovvero verticale. Tale configurazione porta ad una perdita di efficienza del 35 % nel caso di pannelli rivolti a Sud ottenendo un'energia prodotta pari a:

Tab.53 Energia prodotta dai pannelli fotovoltaici.

A _{pv}	η_{pv}	H	E _{pv}
m ²		KWh/m ² a	kWh/a
58	0,126	1240,774	0,65 5893,92

6.3.4.2 COPERTURA

Avendo calcolato l'area della copertura necessaria per i pannelli solari, il resto della superficie è utilizzata per l'installazione di pannelli fotovoltaici, utilizzati anche in questo caso per coprire il fabbisogno della pompa di calore. Si ipotizza, quindi, di coprire una superficie di 83 m², con una inclinazione di 35°.

Tramite software web dal sito web del "Photovoltaic Geographical Information System", si calcola l'irradiazione media mensile su tale superficie ovvero:

Tab.54 Irradiazione media mensile incidente.

MESE	H _{mens}	MESE	H _{mens}
	Wh/m ²		Wh/m ²
GENNAIO	70680	LUGLIO	215140
FEBBRAIO	105840	AGOSTO	193750
MARZO	154690	SETTEMBRE	162900
APRILE	166500	OTTOBRE	111600
MAGGIO	190340	NOVEMBRE	70500
GIUGNO	194700	DICEMBRE	67270

Il valore di irradiazione annua quindi ricavato è 1703,91 kWh/m²a.

Mediante le formule già descritte si calcola l'energia prodotta annualmente:

Tab.55 Energia prodotta dai pannelli fotovoltaici.

A _{pv}	η_{pv}	H	E _{pv}
m ²		KWh/m ² a	kWh/a
83	0,126	1703,91	17819,49

L'energia totale prodotta dalla copertura dell'edificio in un anno è perciò:

Tab.56 Energia totale prodotta dai pannelli fotovoltaici.

E _{pv} verticale	E _{pv} copertura	E _{pv} totale
kWh/a	kWh/a	kWh/a
5893,92	17819,49	23713,42

6.3.5 ACQUA CALDA SANITARIA

Per poter definire il fabbisogno di acqua calda sanitaria e quindi la potenza necessaria per riscaldarla, è necessario considerare il posizionamento delle colonne di carico all'interno dell'edificio già rappresentate in Figura 213. Le scelte nella disposizione dei locali attuate nel fabbricato, hanno tenuto in considerazione la necessità di distribuire l'acqua alle diverse unità.

Ad ognuna di esse, giungono le tubazioni dell'acqua calda e dell'acqua fredda. Per il calcolo della portata di fabbisogno di queste due quantità, è necessario considerare la portata media richiesta dai singoli apparecchi sanitari all'interno dei diversi locali che si riferiscono alle varie parti della rete impiantistica. Il fabbisogno non è però la semplice somma delle portate degli apparecchi, poiché è opportuno considerare la probabilità che essi vengano utilizzati contemporaneamente. Per tale motivo, le portate d'acqua realmente necessarie (Q), vengono stimate in funzione del fattore di contemporaneità, che considera la probabilità reale che i vari sanitari vengano utilizzati contemporaneamente nelle varie unità.

Si considera nel calcolo della portata per contemporaneità: $Q = Q_{tot} (n-1)^{\frac{1}{2}}$.

Dove Q_{tot} è somma delle portate erogate dagli apparecchi presenti negli ambienti considerati e n è il numero totale dei punti di erogazione.

In generale, nel caso dell'edificio in esame, le portate sono contemporaneizzate in verticale, dato l'utilizzo di colonne; al piano-2 infine l'acqua viene portata orizzontalmente dal locale impianti alle stesse. Per quanto riguarda le residenze, una colonna serve due appartamenti per piano. E' quindi necessario considerare la contemporaneità tra due, prima di quella con i piani inferiori. In generale, Q si ottiene utilizzando come termini Q_{tot} e n la somma di quelli delle unità immediatamente precedenti.

Si riporta il caso della colonna C3 al piano +4; si ottiene, contemporaneizzando i due appartamenti serviti, la portata seguente:

Tab.57 Portata corretta di acqua fredda e calda per la colonna C3, livello +4.

PIANO	UNITA'	COLONNA N°3			
		APPARECCHIO SANITARIO	N° DI APPARECCHI	PORTATA MEDIA DI ACQUA	
				FREDDA (l/s)	CALDA (l/s)
4	APP. SINGOLO	Lavello Cucina	1	0,2	0,2
		Lavabo bagno	1	0,16	0,16
		Bidet	1	0,1	0,1
		Doccia	1	0,2	0,2
		WC	1	0,1	0
		Lavatrice	0	0	0
		Lavastoviglie	0	0	0
	APP. SINGOLO	Lavello Cucina	1	0,2	0,2
		Lavabo bagno	1	0,16	0,16
		Bidet	1	0,1	0,1
		Doccia	1	0,2	0,2
		WC	1	0,1	0
		Lavatrice	0	0	0
		Lavastoviglie	0	0	0
	TOT. TEORICO	l/s	10	0,42	0,32
	PORTATA RIDOTTA	l/s		0,14	0,11

Mediante il calcolo attuato per tutti i nodi della rete di distribuzione dell'edificio, nel punto iniziale della rete idraulica si ottiene quindi:

Tab.58 Portata ridotta totale.

	FREDDA (l/s)	CALDA (l/s)
PORTATA RIDOTTA TOTALE	2,04	1,69

6.3.5.1 SERBATOIO DI ACCUMULO

Per quanto riguarda il dimensionamento del serbatoio di accumulo è stato effettuato considerando l'unità di carico doccia, poiché è quella che prevede in maggior consumo rispetto alle altre unità presenti all'interno dell'edificio.

Le docce contate all'interno dell'edificio risultano essere 22. Poiché esiste la possibilità che, all'interno degli appartamenti, due utenti facciano la doccia uno di seguito all'altro, è necessario considerare un fabbisogno di picco tarato su due cicli di docce successive. Sulla base di considerazioni generali è possibile ritenere che ciascuna doccia porta ad un consumo di 50 l a 40 °C per un ciclo di utilizzo stimato in un tempo di 20 minuti.

Secondo il ragionamento appena esposto, ci si riconduce quindi ad un numero di 44 docce che producono un consumo di 50 l a 40°C per un ciclo di utilizzo stimato in un tempo di 40 minuti. Moltiplicando il numero delle docce per il consumo di una doccia, ovvero 50 l in 40 minuti, si è ottenuto il volume di fabbisogno giornaliero di ACS ovvero 44x50=2200 l a 40 °C

Si ipotizza quindi che l'impianto perciò produce e accumula questi 2200 litri prima, e li utilizzi nelle ore di massimo consumo, che si collocano presumibilmente nella prima mattina e nel tardo pomeriggio.

Una volta dimensionato il serbatoio di accumulo è stato possibile dimensionare lo scambiatore di calore attraverso la seguente formula: $P = \frac{(pC_{sp}\Delta T)}{1000}$

In cui:

p è la portata in l/h;

C_{sp} è il calore specifico dell'acqua, ossia 1/0,86 Wh/kgK;

ΔT è la differenza di temperatura tra l'acqua in uscita dall'acquedotto T_{ACQ} (10°C) e l'acqua calda prodotta T_{MAX} (48 °C).

In vista del fatto che non si ha la stretta necessità di riscaldare tutti i 2200 l in un'ora, ma il volume accumulato può essere riscaldato anche in un lasso di tempo maggiore, ad esempio in quattro ore, in ultima analisi la potenza dello scambiatore di calore risulta, applicando la formula precedente:

Tab.59 Potenza dello scambiatore di calore.

p	p [4 h]	Csp	T_{MAX}	T_{ACQ}	ΔT	P	P
l/h	l	Wh/kgC	°C	°C	°C	W	kW
2200	550,00	1,16	10,00	48,00	38,00	24302,33	24,3

Per ottenere la portata totale distribuita in 4 ore, si divide quella oraria per il numero di ore disponibili, ovvero 4.

Poiché per ottenere l'acqua alla temperatura desiderata, è necessario miscelarla con l'acqua fredda proveniente dall'acquedotto, è possibile ridurre il volume del serbatoio aumentando la temperatura dell'acqua accumulata. In questo modo sarà necessaria meno acqua calda per raggiungere la temperatura richiesta.

E' stato quindi deciso di accumulare l'acqua a 55°C, essendo questa la massima

temperatura a cui può arrivare la pompa di calore con le condizioni di aria esterna di progetto. Poiché l'utenza utilizza l'acqua della doccia ad un massimo di 40 °C si calcola in termini di energia, ciò di cui l'utenza necessita sono: $E=P \cdot C_{sp} \cdot T$

Con:

P che è la portata necessaria all'utenza;

C_{sp} è il calore specifico dell'acqua, ovvero 1 kcal/kgK.

Considerando un utilizzo dell'acqua a 40°C, l'energia di cui l'utenza necessita per portarla a tale temperatura è $E=2200 \cdot 1 \cdot 40=88000$ kcal.

Partendo da tale energia necessaria a scaldare l'acqua, volendo accumularla ad una temperatura a 60°, è possibile ricavare la portata necessaria invertendo la formula, ovvero: $P=88000/(1 \cdot 55)=1600$ l. Poiché il grado di utilizzo è stimato intorno all'80% i 1600 l sono stati portati a 1920 l.

Portando avanti il ragionamento precedente, ovvero ipotizzando di scaldare l'acqua a 55° anziché 48, in un tempo di 4 ore si ottiene che la potenza dello scambiatore di calore è pari a 25,12 kW:

Tab.60 Potenza dello scambiatore di calore.

p	p [4 h]	Csp	T _{MAX}	T _{ACQ}	ΔT	P	P
l/h	l	Wh/KgC	°C	°C	°C	W	kW
1920	480	1,163	55	10	45	25116,28	25,12

In base ai calcoli fatti, si sceglie infine un serbatoio di accumulo capace di contenere i 2000 l richiesti. Il modello scelto è tipo "Varem TVAR Z 2000" con capacità pari a 2000 l e dimensioni 2,5x1,16 m ed è caratterizzato da coibentazione esterna per la conservazione del calore nel tempo.

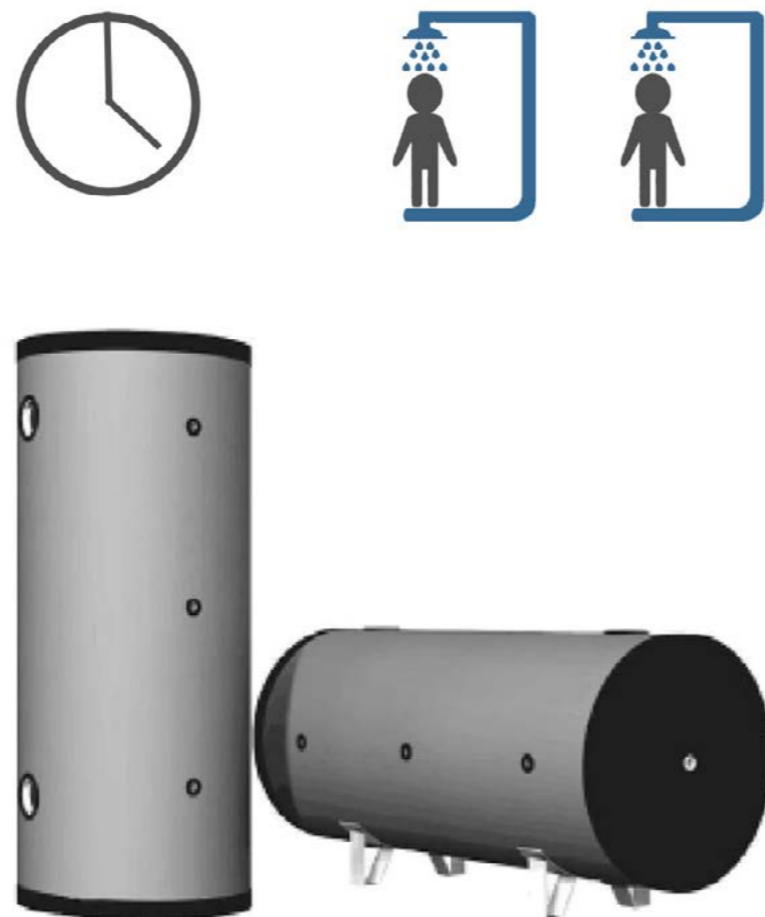


Fig.214 Serbatoio ACS tipo "Varem TVAR"

6.3.6 FABBISOGNO TERMICO

Per quanto riguarda il fabbisogno degli appartamenti, è stato utilizzato il software Trnsys, sia per il caso estivo che invernale.

Il fabbisogno dei locali ad uso diverso da quello residenziale, è stato ricavato tramite il metodo Carrier, utilizzando il procedimento di calcolo di seguito riportato.

6.3.6.1 FABBISOGNO ESTIVO

Per il calcolo del fabbisogno estivo degli ambienti pubblici è stata considerata la configurazione più gravosa a livello di irraggiamento solare, che solitamente corrisponde a quella di massimo aumento di temperatura dei locali a causa degli apporti solari di calore. Per definire l'ora ed il giorno di carico massimo per ogni locale, sono state utilizzate le tabelle fornite nel corso di Impianti relative alla radiazione solare per i differenti orientamenti riferite al metodo Carrier.

L'irradiazione massima è calcolata sommando i valori di irradiazione solare, presenti in tale tabella, per ogni orientamento della stanza in esame.

Si riporta come esempio il caso delle aule studio al piano terra con orientazione Est ed Ovest.

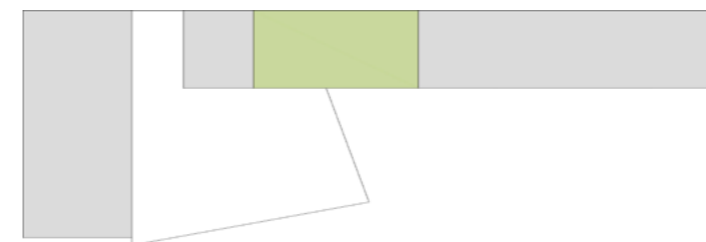


Fig.215 Localizzazione Aula Studio al Livello 0.

Per tale orientazione l'irradiazione massima è alle ore 16.00 del mese di Giugno e vale $I_{max}=471$ kcal/h. In alcuni casi, l'ora critica trovata non corrispondeva a periodi di uso effettivo di tali locali; è stato quindi scelto un periodo di riferimento alternativo in base a ragionamenti logici.

La temperatura esterna massima di riferimento è 33° C, ovvero il valore critico per la città di Milano. Tale temperatura va però corretta a causa della presenza dell'umidità. Considerando un'escursione termica giornaliera di 10°C, si identifica, nelle tabelle fornite nel corso di Impianti, il valore da sottrarre alla temperatura a bulbo secco per l'ora critica di temperatura considerata. Si ha quindi $33-0,5=32,5$ °C.

Ipotizzando una temperatura di comfort di 26°C all'interno dei locali, la differenza di temperatura effettiva tra la stanza e l'esterno è $\Delta T_{eff}=-0,5$ °C.

Il calore generato dall'irradiazione è quindi ricavato dalla formula: $Q_{irr}=A_v \frac{I}{0,86} F_s$

In cui:

A_v è l'area del vetro;

I è l'irradiazione ricavata dalla tabella sopra citata;

F_s è il fattore solare che dipende dal tipo di vetro, in questo caso doppio e basso emissivo.

Tab.61 Guadagni per irradiazione.

	A_v	I	F_s	Q
	m ²	kCal/h		W
Finestre E	53	32	0,5	986,05
Finestre O	4,5	439	0,5	1148,55
		Q tot	W	2134,59

Il calore acquisito per radiazione e trasmissione è dato invece dalla formula:

$$Q_{tr} = A_p \Delta T_{eq} U$$

Dove:

A_p è l'area della parete in esame;

ΔT_{eq} è la differenza di temperatura equivalente tra interno ed esterno calcolata utilizzando le stesse tabelle sopra citate, in particolare quella riferita alle differenze di temperature equivalenti per muri esposti al sole, considerando il peso della parete (in questo caso, trattandosi di pareti leggere si utilizza 100Kg/m²) e l'ora critica prima definita; poiché tale tabella si riferisce al mese di Luglio, ad una parete di colore scuro, mentre nel caso in esame è gialla, ed ad una latitudine di 40° Nord, mentre la città di Milano si trova a 45° N, è necessario correggere i valori trovati.

Si definisce il valore riferito alla latitudine e mese tramite la formula $\Delta T_e = (1 - 0,55 \frac{R_s}{R_m}) \Delta T_{es} + 0,55 \frac{R_s}{R_m} \Delta T_{em}$ riferita a muri colore chiaro o medio.

In tale formula:

ΔT_{es} è la differenza di temperatura equivalente per la stessa parete o tetto in ombra per l'ora e il giorno desiderato;

ΔT_{em} è la differenza di temperatura equivalente per la stessa parete o tetto in ombra per l'ora e il giorno desiderato corretta eventualmente in base alle condizioni di progetto;

R_s è la massima radiazione solare attraverso il vetro verticale (per la parete) o orizzontale (per il tetto), per il mese e la latitudine considerata e si trova nelle tabelle prima citate;

R_s è la massima radiazione solare attraverso il vetro verticale (per la parete) o

orizzontale (per il tetto), per il mese di Luglio a 40° di latitudine nord considerata e si trova dalla stessa tabella .

Nel caso la correzione si riferisca solo a latitudine si utilizza $\Delta T_e = (1 - \frac{R_s}{R_m}) \Delta T_{es} + \frac{R_s}{R_m} \Delta T_{em}$

mentre per il colore (considerandolo chiaro o medio) $\Delta T_e = 0,22 \Delta T_{es} + 0,78 \Delta T_{em}$.

U è la trasmittanza termica della parete in oggetto.

Si ottiene:

Tab.62 Guadagni per irradiazione e trasmissione.

	A_p	ΔT_{eq}	U	Q
	m ²	°C	W/m ² K	W
parete N	28,25	1,1	0,25	5,33
parete E	0	7,8	0,17	0,00
parete O	31,2	15,65	0,17	84,71
parete S	28,25	7,80	0,17	29,09
	Q tot		W	119,13

l

Il terzo contributo del fabbisogno è dato dal calore ottenuto per trasmissione, riferito a quello che passa attraverso le pareti avendo una differenza di temperatura tra esterno ed interno, in cui il calore, al contrario della situazione invernale tende ad entrare nell'edificio Questo contributo vale: $Q_{tr} = A_p \Delta T_{eff} U$

A_p è l'area della parete in esame;

ΔT_{eff} è la differenza di temperatura effettiva tra interno ed esterno calcolata precedentemente;

U è la trasmittanza termica della parete in oggetto.

Tab.63 Guadagni per trasmissione.

	A_p	ΔT_{eff}	U	Q
	m ²	°C	W/m ² K	W
Sup. vetrata	57,5	6,5	1,2	448,5
Sup.esterno	31,2	6,5	0,17	35,19
Non risc. N	28,25	6,5	0,25	31,51
Non risc. S	28,25	6,5	0,17	24,24
	Q tot		W	539,43

Per quanto riguarda gli scambi termici con i locali non riscaldati (sia in questo caso che in quello precedente), Q si ottiene con $Q = H_{corr} \Delta T$ in cui: $H_{corr} = \frac{H_i H_e}{H_i + H_e}$ e con $H_i = U_i * S$ e $H_e = U_e * S$.

U_i e U_e sono, nell'ordine, la trasmittanza della parete tra i due locali e del locale non riscaldato verso l'esterno, moltiplicate per le rispettive superfici.

Nel caso dei locali interrati è stata apportata una correzione alla U delle pareti controterra con $U_{corr} = \frac{1}{\frac{1}{U} + \lambda_{terr}}$, considerando L la lunghezza della parete e λ_{terr} la

conducibilità del terreno ossia 3 W/mK. Le dispersioni del solaio controterra sono considerate nulle poiché si trovano ad una profondità di 9 m, valore superiore alla profondità limite di 2 m in cui si considerano questi contributi.

Infine è stato stimato il calore causato dalla presenza di persone e apparecchiature Q_{int} .

La potenza per persona/apparecchio è moltiplicata per il numero degli stessi, tranne nel caso dell'illuminazione in cui essa è moltiplicata per i m² della stanza.

Tab.64 Guadagni interni per persone ed apparecchi.

	N° o m ²	Q W o W/m ²	Qtot W
Persone	41	70	2870
Illuminazione	78,04	10	780,4
Computer	41	150	6150
	Q tot	W	9800

Alcuni di tali valori sono valutati tramite *Norma UNI11300*. Sommando i contributi sopra elencati si ottiene il totale parziale del calore sensibile necessario per il raffrescamento della stanza o in altri casi dell'insieme di stanze considerate. In questo caso vale $Q = 12593,55$ W.

Come già accennato, per quanto riguarda la fase estiva, è necessario considerare il calore latente, che nei periodi più caldi influenza la percezione di comfort comfort, data la presenza di umidità.

Il calore latente Q_{int} da asportare è dato dal calore generato dalle persone:

Tab.65 Calore latente.

	N°	Q W	Qtot W
persone	41	70	2870
	Q tot	W	2870

Il calore totale da eliminare per questa UTA è dato dalla somma dei contributi di calore sensibile e di calore latente ottenendo: $Q = 15463,55$ W = 15,46 kW.

6.3.6.2 FABBISOGNO INVERNALE

Il calore da fornire in inverno, esso è dato dalle dispersioni per trasmissione attraverso le varie superfici e si calcola considerando le correzioni descritte nel paragrafo precedente per quanto riguarda gli ambienti non riscaldati o interrati. Si utilizza perciò: $Q_{tr} = A_p \Delta T_{eff} U F$.

Dove:

A_p è l'area della parete in esame;

$\Delta T_{eff} = 20 - (-5) = 25^\circ C$ è la differenza di temperatura tra interno ed esterno;

U è la trasmittanza termica della parete o della finestratura in oggetto;

F è un fattore correttivo >1 dipendente dall'orientamento della parete.

Tab.66 Perdite di calore per trasmissione.

	A_p m ²	ΔT_{eff} °C	U W/m ² K	F	Q_{tr} W
Finestre N	0	25	0,5	1,20	1,2
Finestre E	53	25	0,5	1,20	1,15
Finestre O	4,5	25	0,5	1,20	1,05
Finestre S	0	25	0,5	1,20	1
parete N	28,25	25	0,2149	0,25	1,2
parete E	0	25	0,2149	0,17	1,15
parete O	31,2	25	0,2149	0,17	1,05
parete S	28,25	25	0,2149	0,17	1
soffitto	78,04	0	0	0,00	1
pavimento	78,04	0	0	0,00	1
	Q tot		W		2350,99

6.3.6.3 RISULTATI

Di seguito si riportano i valori di fabbisogno estivo ed invernale per tutti i locali o insieme di locali:

Tab.67 Fabbisogno estivo ed invernale per ogni locale.

PIANO	FUNZIONE	ESTIVO LATENTE kW	ESTIVO TOTALE kW	INVERNALE kW
0	AULE STUDIO	2,21	3,68	1,69
0	ESPOSIZIONE	1,40	6,93	2,67
-1	LABORATORI	1,40	2,50	0,50
-1	MARKET AUTO-MATICO LIBRERIA SALA GIOCHI	2,80	6,69	1,24
-2	INFERMERIA BAGNI PUBBLICI AMMINISTRAZIONE SALA CONFERENZE	0,70	2,32	0,39
-2	PALESTRA	3,78	5,62	0,73
4	CUCINA COMU-NE	0,96	1,67	0,86
4	SALA RELAX	0,41	1,66	1,28
+1÷+4	APPARTAMENTO TIPO	0,14	0,23	0,34

6.3.7 PANNELLI RADIANTI

Nel caso delle residenze si ottiene il riscaldamento e raffrescamento delle varie unità tramite pannelli radianti a pavimento. Si utilizza un sistema a pannelli radianti anche per le stanze adibite a Canteen e Social Room, poiché, avendo dimensioni ridotte e quindi carichi limitati, non risulta efficiente adibire una o parte delle unità di trattamento dell'aria per tali spazi.

La scelta di porre i pannelli a pavimento e non a soffitto, è dettata da motivazioni di tipo ergonomico e radiativo. Infatti, necessitando stratigrafie di dimensione ridotta, non è possibile porre il riscaldamento all'interno del controsoffitto, già occupato dai canali della ventilazione meccanica controllata. Inoltre, poiché tali pannelli vengono utilizzati anche per il riscaldamento, sarebbe opportuno isolarli anche superiormente per evitare che il calore venga disperso nelle unità riscaldate superiori, e questo comporterebbe un eccessivo sfasamento termico per quanto riguarda le stratigrafie.

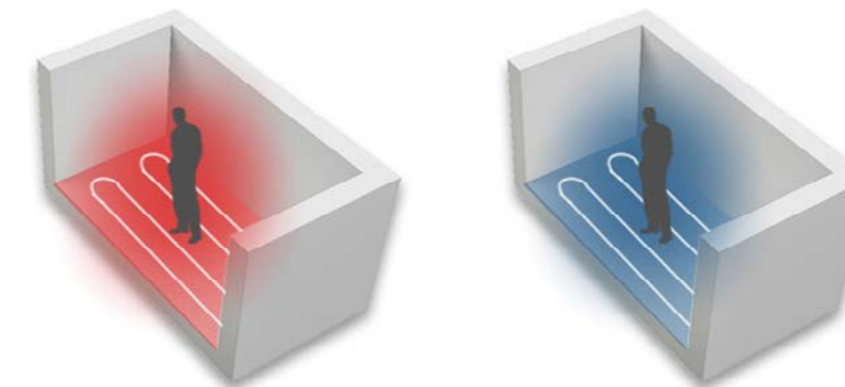


Fig.216 Pannelli radianti a pavimento per riscaldamento e raffrescamento.

Nel caso delle residenze, si è inoltre ritenuto che, data la presenza di vani accessori posizionati a soffitto (armadi e spazi di deposito, data la dimensione ridotta delle abitazioni), la superficie radiativa fosse eccessivamente ridotta.

Di seguito verrà definito un predimensionamento a livello di potenza, portata e temperature circolanti dell'impianto radiante scelto.

I fabbisogni di potenza sensibile per riscaldamento e raffrescamento, riferiti agli appartamenti più critici, sono quelli già riportati nel Paragrafo 6.3.6. e valgono:

Tab.68 Fabbisogni di potenza sensibile per estate e inverno.

DESTINAZIONE	Q_{ESTATE} W	$Q_{INVERNO}$ W
Residenze	578,26	1510,2
Canteen	705,90	861,61
Social Room	1245,68	1283,57

Si scelgono quindi i pannelli radianti tipo "Kermi Xnet 13".

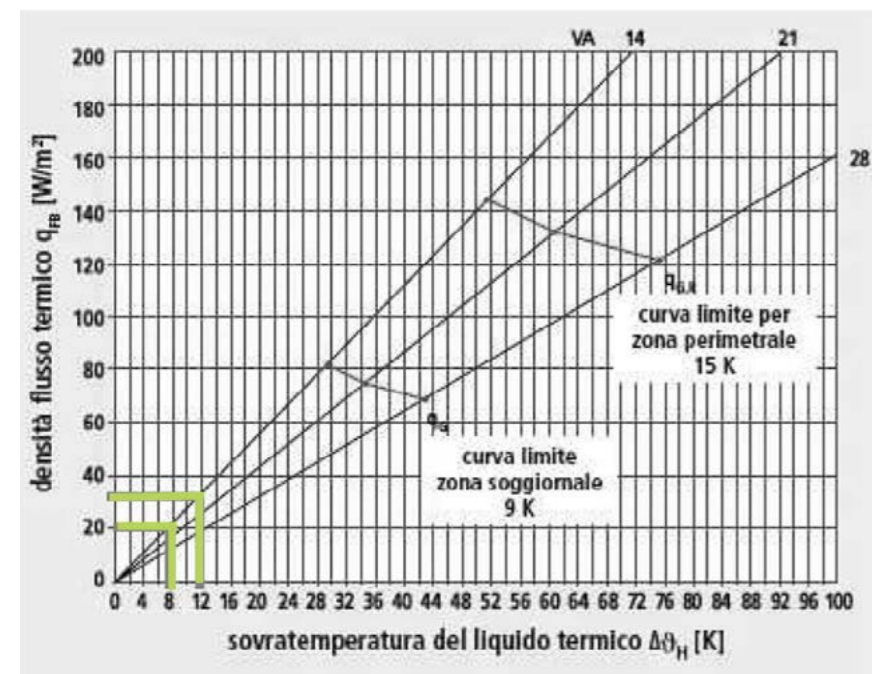
Si parte definendo la densità di flusso termico. Essa si ottiene dividendo il fabbisogno sopra riportato per la superficie di riscaldamento/raffrescamento, ovvero quella dell'appartamento considerato.

Tab.69 Densità di flusso termico.

	Q_{ESTATE} W	$Q_{INVERNO}$ W	$S_{app.crit.est}$ m ²	$S_{app.crit.inv}$ m ²	Φ_{ESTATE} W/m ²	$\Phi_{INVERNO}$ W/m ²
Residenze	93	344	27	45	3,44	7,64
Canteen	705,90	861,61	40	40	17,65	21,54
Social Room	1245,68	1283,57	47,2	47,2	26,39	27,19

Il produttore fornisce le tabelle per il dimensionamento in funzione del materiale di rivestimento del pavimento. Nel caso in esame si tratta di resina con una resistenza termica pari a $R=0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$. Tra quelle proposte si sceglie quella riferita ad un pavimento con $R=0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$ per stare in favore di sicurezza, poichè un pavimento con maggiore resistenza termica garantisce un flusso di calore verso l'ambiente minore.

Si riporta il grafico appena citato nell'immagine seguente:



Graf.48 Densità del flusso termico in funzione della sovratemperatura del liquido termico.

Ipotizzando un passo tra i tubi di 14 cm, si ricava la sovratemperatura del liquido termico quindi la temperatura di mandata tramite la formula differenziata per estate e inverno:

$$\theta_{vi}^{EST} = \theta_i - \Delta\theta_h - \frac{\sigma}{2}$$

$$\theta_{vi}^{INV} = \theta_i + \Delta\theta_h + \frac{\sigma}{2}$$

Dove:

θ_{vi} è la temperatura di mandata;

θ_i è la temperatura interna alla stanza;

$\Delta\theta_h$ è la sovratemperatura media precedentemente calcolata;

σ è la differenza tra temperatura di mandata e di ritorno e vale al massimo $5 \text{ }^\circ\text{C}$ [Rif: EN 1264].

Si ottiene quindi:

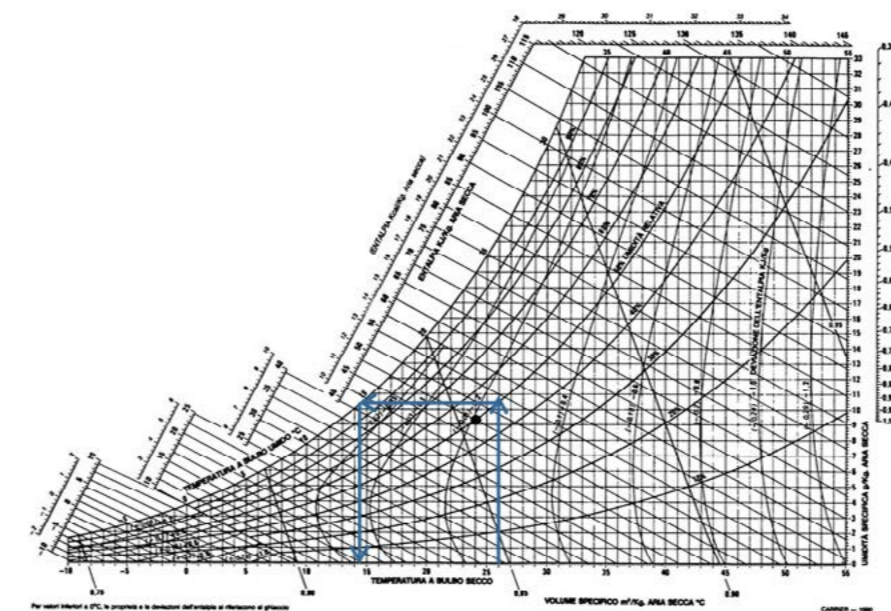
Tab.70 Sovratemperatura del liquido termico in estate ed inverno.

DESTINAZIONE	PASSO	$\Delta\theta_h$	θ_i	σ	θ_{vi}	
	cm	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Residenze	14	2,3	26	3	22,2	
Canteen	14	6	26	3	18,5	EST
Social Room	14	9	26	3	15,5	
Residenze	14	1	20	3	22,5	
Canteen	14	7,5	20	3	29	INV
Social Room	14	9,5	20	3	31	

Con una temperatura di mandata massima di $31 \text{ }^\circ\text{C}$ non si eccede i limiti sulla temperatura superficiali imposti da normativa, ovvero 29° per le zone soggiornali [Rif: EN 1264].

Nel caso estivo, invece, il limite di temperatura può essere quello dato dalla temperatura di rugiada. Se la una superficie ha temperatura inferiore a questa, su di essa si creerà condensa, condizione da evitare per motivi di durabilità dei materiali ed igienicità degli spazi.

Per una temperatura d'aria interna supposta di $26 \text{ }^\circ\text{C}$, tramite il diagramma psicometrico è possibile calcolare una temperatura di rugiada di $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ seguendo le linee tracciate nell'immagine seguente.



Graf.49 Diagramma psicometrico per la definizione della temperatura di rugiada.

Poiché la temperatura di mandata ha una temperatura superiore alla temperatura di rugiada, in generale non ci sono problemi di condensa per i locali in cui tale temperatura maggiore di 18°C .

Nel caso della Social Room, invece, dove la temperatura di mandata è di $15,5^\circ\text{C}$, potrebbe esserci il rischio di formazione di condensa, ma solo nel caso varino le condizioni di umidità relativa dell'ambiente. Per questo si ipotizza di installare in questo locale, un deumidificatore che controlli tali condizioni.

Si calcola quindi la portata del flusso d'acqua all'interno dei tubi tramite la formula:

$$P = \frac{Q}{\sigma * C_{sp}} 3600$$

Dove:

P è la porta oraria del flusso d'acqua all'interno dei tubi;

Q è il fabbisogno di potenza precedentemente riportato;

σ è la differenza tra temperatura di mandata e di ritorno sopra descritta;

C_{sp} è il calore specifico dell'acqua;

3600 è un fattore dimensionale per ottenere la portata in l/h.

Si ottiene così:

Tab.71 Portata del flusso d'acqua nei tubi in estate ed inverno.

DESTINAZIONE	Q	σ	C_{sp}	P		
	kW	K	kJ/kgK	l/h		
Residenze	0,09	3	4,19	3600	26,63	
Canteen	0,71	3	4,19	3600	202,17	EST
Social Room	1,25	3	4,19	3600	356,76	

DESTINAZIONE	Q	σ	Csp	P	
	kW	K	kJ/kgK	l/h	
Residenze	0,34	3	4,19	3600	98,52
Canteen	0,86	3	4,19	3600	246,76 INV
Social Room	1,28	3	4,19	3600	367,61

Viene infine ricalcolata la potenza dell'impianto considerando: $Q=C_{sp}(\theta_{vi}-\theta_u)P$

In cui:

C_{sp} è il calore specifico dell'acqua, ossia 1/0,86 Wh/kgK;

θ_{vi} è la temperatura di mandata;

θ_u è la temperatura di ritorno;

P è la portata appena calcolata.

Si ha perciò:

Tab.72 Potenza dell'impianto in estate ed inverno.

DESTINAZIONE	θ_{vi}	θ_u	P	Csp	Q	Q	
	°C	°C	l/h	Wh/KgC	W	kW	
Residenze	22,2	25,2	26,63	1,16	92,91	0,09	
Canteen	18,5	21,5	202,17	1,16	705,23	0,71	EST
Social Room	15,5	18,5	356,76	1,16	1244,51	1,24	
Residenze	22,5	19,5	98,52	1,16	343,68	0,34	
Canteen	29	26	246,76	1,16	860,80	0,86	INV
Social Room	31	28	367,61	1,16	1282,36	1,28	

6.3.8 IMPIANTO AD ARIA

6.3.8.1 UNITA' DI TRATTAMENTO DELL'ARIA

Per quanto riguarda i livelli dell'edificio adibiti a funzioni comuni o pubbliche, si è scelto di controllare le condizioni interne tramite unità di trattamento dell'aria.

Per dimensionare tale impianto, sono stati prima di tutto definiti gli spazi con necessità termoigrometriche simili. Poiché l'edificio si compone di ambienti minori, è stato possibile raggruppare la maggior parte delle attività

Sono state così identificate 2 unità di trattamento dell'aria:

Tab.73 Suddivisione dei locali in unità di trattamento dell'aria.

PIANO	FUNZIONE	ID
0	AULE STUDIO	
0	ESPOSIZIONE	
-1	LABORATORI	
-1	MARKET AUTOMATICO	
-1	LIBRERIA	UTA1
-1	SALA GIOCHI	
-2	INFERMERIA	
-2	BAGNI PUBBLICI	
-2	AMMINISTRAZIONE	
-2	SALA CONFERENZE	
-2	PALESTRA	UTA6

Successivamente è stato calcolato il fabbisogno massimo estivo ed invernale per le diverse UTA sopra citate, sia a livello di calore sensibile che latente (quest'ultimo solo per il caso estivo).

Le macchine di trattamento dell'aria sono state collocate nel locale impianti posto al piano-2 dell'edificio.

E' stato prima di tutto considerato il valore della portata per ventilazione. Tale valore è stato calcolato partendo da valori tabellati *nella Norma 10339*. In tale prospetto vengono definiti i valori di portata di estrazione o di aria esterna da fornire agli ambienti in funzione della categoria d'uso.

Per i vari casi delle UTA considerate si ha:

Tab.74 Portata di ventilazione per i vari locali.

UTA	ATTIVITA'	AREA	VOLUME	PERSONE	VOLUMI QOP	PORTATA
		m ²	m ³	N°	10 ⁻³ m ³ /sPers	m ³ /h
UTA1	Aula studio	77,4	270,9	41	7	1033,2
	Esposizione	117,6	411,6	18	6	388,8
	Laboratori	97,2	340,2	20	7	504
	Spazi-1	98,2	343,7	40	7	1008
	Spazi-2	449,18	1572,13	10	9	324
UTA2	Palestra	311,4	1089,9	30	16,5	1782

Per calcolare la portata finale P in m³/h è stata utilizzata quindi la formula:

$$P=QOP*N*PERSONE*3,6$$

Nel capitolo precedente, attraverso il calcolo del fabbisogno, è stato valutato il valore di calore residuo utilizzato poi per dimensionare l'impianto.

Poiché la condizione più critica è quella estiva, il calcolo sarà basato su tali dati.

Partendo dal fabbisogno di calore e di portata per ventilazione, è quindi possibile dimensionare gli impianti.

Le condizioni interne di comfort considerate sono:

Tab.75 Condizioni stagionali di comfort.

PERIODO	Tint	U.R.
	°C	%
ESTATE	26	50%
INVERNO	20	50%

Per quanto riguarda il caso estivo è stata quindi calcolata la differenza di umidità specifica tra le condizione ambiente ipotizzate e quelle esterne.

Poiché il calore totale da estrarre dai locali sopra citati è stato calcolato tramite il calcolo del fabbisogno, se si impone il Δt è possibile calcolare la portata corretta invertendo la formula: $Q_{tot}=P*C*\Delta t$

In cui:

$Q_{tot}=Q_{sens} + Q_{lat}$ è il valore del calore trovato con il calcolo del fabbisogno termico;

P è la portata d'aria in estrazione;

C è il calore specifico dell'aria e vale 0,34 Wh/m³K

Δt è la differenza tra la temperatura interna e la temperatura esterna. Tale valore è $\Delta t=t_e-t_i=33-26=7^{\circ}C$.

Si ottiene quindi la portata d'aria necessaria ad estrarre il calore sufficiente a mantenere lo stato di comfort, considerando la differenza di temperatura scelta.

Si ottiene quindi:

$$P = \frac{Q_{tot}}{C \cdot \Delta t}$$

La portata trovata deve essere maggiore o uguale a quella calcolata nel passaggio precedente per garantire le condizioni igieniche prescritte.

Si ha perciò:

Tab.76 Portata di ventilazione corretta.

UTA	ATTIVITA'	P	Q _{tot}	t _{int}	Δt	t _{imm}	P _{corretta}
		m ³ /h	W	°C	°C	°C	m ³ /h
	Aula studio	1033,2	3675,60	26	7	33	1544,37
	Esposizione	388,8	6930,26	26	7	33	2911,87
UTA1	Laboratori	504	2502,18	26	7	33	1051,34
	Spazi-1	1008	6690,20	26	7	33	2811,01
	Spazi-2	324	2322,26	26	7	33	975,74
UTA2	Palestra	1782	5624,75	26	7	33	2363,34

Nel caso la portata trovata sia maggiore rispetto a quella raccomandata, la quantità residua rispetto a quella consigliata, può essere considerata volume di ricircolo. Considerando tale configurazione si avrebbe una temperatura di miscela tra le due pari a:

$$T_M = \frac{P_R T_i + P_E T_e}{P_R + P_E}$$

In cui:

P_R portata d'aria di ricircolo;

P_E portata d'aria di estrazione;

T_i è la temperatura interna al locale;

T_e è la temperatura dell'aria esterna.

Si ha perciò:

Tab.77 Temperatura di miscela.

UTA	ATTIVITA'	P _E	P _R	T _i	T _e	T _M
		m ³ /h	m ³ /h	°C	°C	°C
	Aula studio	1544,37	511,17	26	33,00	30,68
	Esposizione	2911,87	2523,07	26	33,00	26,93
UTA1	Laboratori	1051,34	547,34	26	33,00	29,36
	Spazi-1	2811,01	1803,01	26	33,00	28,51
	Spazi-2	975,74	651,74	26	33,00	28,32
UTA2	Palestra	2363,34	581,34	26	33	31,28

Nel caso della palestra la portata prescritta è sufficiente ad asportare il calore, quindi la temperatura di miscela corrisponde alla temperatura dell'aria esterna.

Si ha quindi una differenza tra la temperatura interna e quella di miscela pari a:

Tab.78 Differenza tra temperatura di miscela e dell'aria interna.

UTA	ATTIVITA'	T _i	T _M	ΔT
		°C	°C	°C
	Aula studio	26	30,68	4,68
	Esposizione	26	26,93	0,93
UTA1	Laboratori	26	33,00	29,36
	Spazi-1	26	33,00	28,51
	Spazi-2	26	33,00	28,32
UTA2	Palestra	26	31,28	5,28

Considerando un recuperatore di calore entalpico, con efficienza 70%, si recupera il 70% di tale ΔT, ottenendo una temperatura T_c da cui partire per il raffrescamento:

$$T_c = T_M - \frac{\Delta T \cdot 100}{70}$$

Tab.79 Temperatura da cui partire per il raffrescamento.

UTA	ATTIVITA'	T _M	ΔT	T _c
		°C	°C	°C
	Aula studio	30,68	4,68	23,99
	Esposizione	26,93	0,93	25,60
UTA1	Laboratori	29,36	3,36	24,56
	Spazi-1	28,51	2,51	24,92
	Spazi-2	28,32	2,32	25,00
UTA2	Palestra	31,28	5,28	23,74

Per calcolare la potenza della batteria di raffrescamento si utilizza il diagramma psicrometrico.

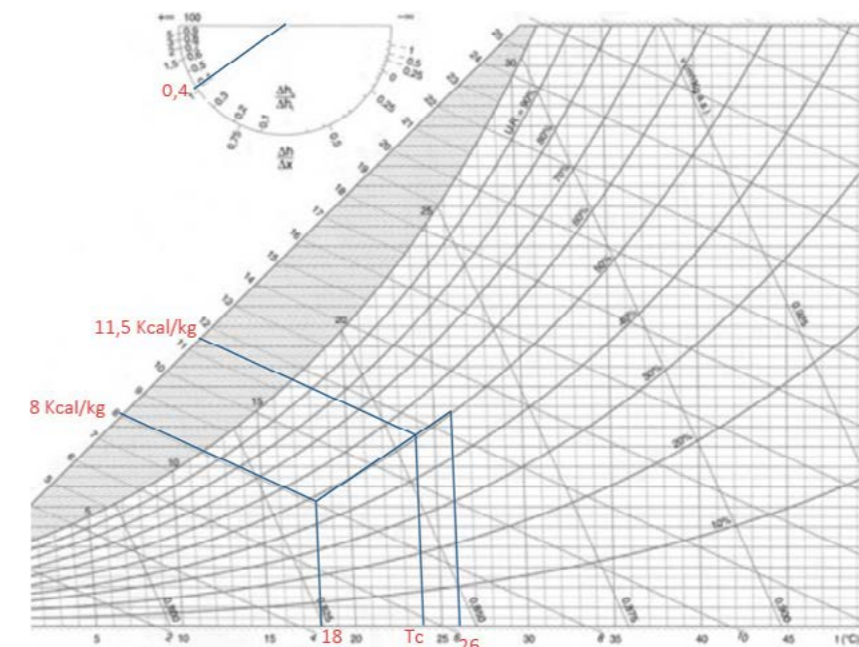
Viene definita la retta ambiente passante per la temperatura interna e avente inclinazione $R = \frac{Q_{sens}}{Q_{tot}}$. Su tale retta si identifica la temperatura di immissione, considerando una differenza tra essa e la temperatura interna minore di 10°C per evitare problemi di discomfort. In generale si sceglie una temperatura di 18°C.

Successivamente, si collega parallelamente alle rette di entalpia, il punto di temperatura e umidità relativa appena trovato, all'asse delle entalpie. Si esegue lo stesso procedimento per il punto di intersezione tra la retta che rappresenta T_c e la curva di umidità relativa 50%. La differenza ΔJ tra tali punti trovati, rappresenta i valori dell'energia da fornire alla batteria di raffrescamento in fase estiva.

Si ha perciò:

Tab.80 Energia da fornire alla batteria di raffrescamento.

UTA	ATTIVITA'	ΔJ
		kWh
	Aula studio	0,0041
	Esposizione	0,0027
UTA1	Laboratori	0,0044
	Spazi-1	0,0031
	Spazi-2	0,0034
UTA2	Palestra	0,005



Graf.50 Calcolo della differenza di entalpia per l'Aula Studio.

Applicando la formula seguente viene calcolata la potenza termica della batteria di raffrescamento: $Q = \Delta J * 1,2 * P$

ΔJ è il valore appena calcolato;

$1,2 \text{ kg/m}^3$ è la densità dell'aria;

P sono le portate prima calcolate.

Si ha perciò:

Tab.81 Potenza termica della batteria di raffrescamento.

UTA	ATTIVITA'	ΔJ	P	Q
		kWh	m3/h	kW
UTA1	Aula studio	0,0027	1544,37	7,54
	Esposizione	0,0027	2911,87	9,35
	Laboratori	0,0044	1051,34	5,58
	Spazi-1	0,0031	2811,01	10,59
	Spazi-2	0,0034	975,74	3,95
	TOTALE	0,02	9294,33	37,01
UTA2	Palestra	0,003	2363,34	13,85

Per quanto riguarda la fase invernale, si parte da una condizione di temperatura esterna minima pari a $T_E = -5^\circ\text{C}$.

Il ΔT di progetto, considerando una temperatura di comfort di $T_I = 20^\circ\text{C}$, è quindi $\Delta T = T_I - T_E = 25^\circ\text{C}$.

Il recuperatore entalpico precedentemente citato, permette di avere una differenza di temperatura pari al 70% del ΔT , che porta ad una temperatura di ingresso $T_c = 12,5^\circ\text{C}$.

Per calcolare la potenza della batteria di riscaldamento si applica la formula:

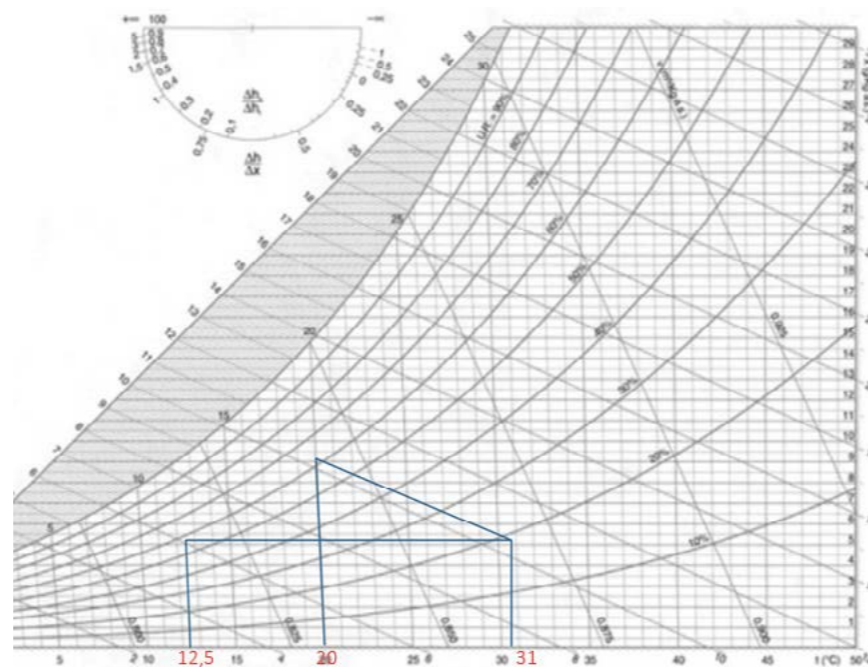
$$Q = P * 0,34 * \Delta T_c$$

Dove:

P è la portata corretta calcolata in fase estiva sommata per tutte le attività presenti nella singola UTA;

$0,34 \text{ Wh/m}^3\text{C}$ è il calore specifico dell'aria;

$$\Delta T_c = T_3 - T_c = 31 - 12,5^\circ\text{C} = 18,5^\circ\text{C}$$



Graf.51 Calcolo della temperatura T3.

In particolare T_3 si ottiene graficamente come riportato di seguito. La batteria scalda l'aria dalla temperatura di ingresso T_c fino a T_3 (retta orizzontale che parte dal punto in cui T_c incontra verticalmente la retta di umidità 60%).

Quest'ultima si trova tracciando una linea ad entalpia costante dal punto di incontro della curva ad umidità relativa 60% e della retta verticale riferita ai 20°C .

Questa retta inclinata rappresenta il processo di umidificazione dopo il preriscaldamento per riportare l'aria in condizioni igrometriche di comfort.

I valori di potenza della batteria di riscaldamento quindi sono:

Tab.82 Potenza della batteria di riscaldamento.

UTA	P	C	ΔT_c	Q	Q
	m ³ /h	Wh/m ³ C	°C	W	kW
UTA1	9294,33	0,34	18,50	58461,32	58,46
UTA2	2363,34	0,34	18,50	14865,41	14,87

Si scelgono quindi i modelli di centrali di trattamento tipo " Sital Klima CTS " in base alla portata, in modo da definirne lo spazio occupato nel vano impianti

Di seguito se ne riportano le dimensioni in base alla UTA di riferimento, da scheda tecnica non è indicata la lunghezza poichè le unità risultano componibili:

Tab.83 Dimensioni dell'unità di trattamento dell'aria.

UTA	MODELLO	Larghezza	Altezza
		mm	mm
UTA1	06	1150	1150
UTA2	02	730	730

6.3.8.2 VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Per assicurare un buon livello prestazionale, è stato scelto di introdurre all'interno delle residenze, un impianto di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore in cui l'aria di ricambio, passa attraverso un condotto sotterraneo di circa 25 m che permette di alzarne la temperatura durante l'inverno e di abbassarla durante l'estate. Durante questo periodo, in particolare, questo aiuta a raffreddare gli ambienti interni.

Tale sistema viene utilizzato solo per le residenze poiché, data la minore portata in gioco, è possibile ottenere una variazione della temperatura dell'aria più consistente (circa 4°C) rispetto a quella che si avrebbe per la grande massa d'aria dei piani pubblici (meno di $0,5^\circ\text{C}$ per l'UTA1 e $1,5^\circ\text{C}$ per l'UTA2).

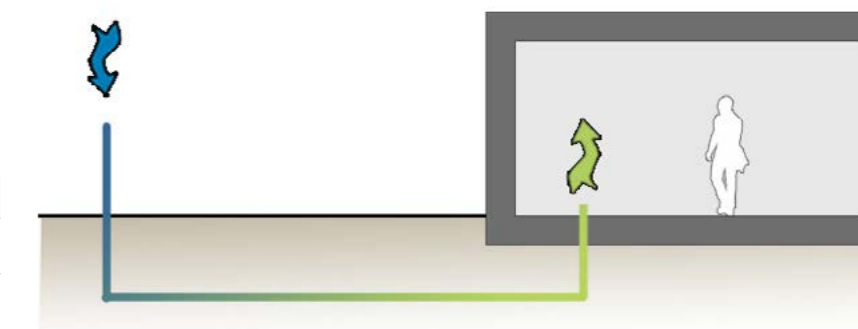


Fig.217 Pretattamento geotermico dell'aria.

Per il calcolo del ΔT ottenuto si utilizza la formula: $Q=P*0,34*\Delta T$

Dove:

P è la portata d'aria considerata;

0,34 Wh/m³°C è il calore specifico dell'aria;

ΔT è la variazione di temperatura, in questo caso incognita;

$Q=Q_{TERR} * L$, in cui Q_{TERR} =50 W/m ed è la resa termica del terreno e L è la lunghezza del percorso dei tubi. Invertendo la formula si ha:

Tab.84 Variazione della temperatura dell'aria esterna, con il pretrattamento dell'aria.

Q_{TERR}	L	C_{sp}	P	ΔT
W/m	m	Wh/m ³ °C	m ³ /h	°C
50	25	0,34	871,2	4,22

La portata utilizzata nel calcolo, viene calcolata partendo dai valori minimi di ventilazione consigliati dalla norma *UNI/TS 11300*, ovvero 39,6 m³/h per persona. Avendo due tipologie di appartamento (singolo e doppio), è stato calcolato il valore totale di portata per ventilazione:

Tab.85 Portata di calcolo.

DESTINAZIONE D'USO	N°	n° persone	Volumi estrazione	Portata
			m ³ /hp	m ³ /h
Appartamento singolo	8	1	39,6	316,8
Appartamento doppio	7	2	39,6	554,4
			TOTALE m ³ /h	871,2

6.3.8.3 DIMENSIONI DEI CANALI

Per quanto riguarda le condotte che distribuiscono sia la ventilazione naturale, che l'aria trattata, è stato effettuato un dimensionamento di massima basato sulle portate totali ai nodi principali del sistema di distribuzione.

Sono state, innanzitutto definite, tramite somme, le portate all'inizio della condotta di distribuzione, alla base di ogni colonna che le porta alle residenze ed interne alla singola abitazione. Tramite il grafico distribuito da vari produttori in cui si legano la velocità dell'aria nei canali, il diametro degli stessi e le perdite di carico al metro, sono state ricavate le dimensioni riferite ad un canale circolare. Queste, mediante le tabelle di conversione fornite dagli stessi produttori, sono state poi trasformate in dimensioni rettangolari equivalenti.

Si ha perciò:

Tab.86 Dimensioni equivalente dei canali di ventilazione.

	P	V	ϕ	h	b
	m ³ /h	m/s	mm	mm	mm
TOTALE	871,2	4,5	270	150	450
PER COLONNA	277,2	3	200	150	250
INTERNA	79,2	3	100	70	150

Le velocità scelte come base di partenza sono mantenute entro i limiti consigliati nella pratica.

Si verifica quindi che le dimensioni trovate non danno problemi poiché l'ultima considerata, ovvero quella interna agli appartamenti, ha spazio nel controsoffitto, e le altre due trovate, ovvero alla base delle colonne ed all'inizio dell'impianto di distribuzione, non hanno problemi di passaggio né in verticale (avendo già predi-

sposto delle colonne comuni a due unità abitative) né in orizzontale, poiché date le limitate dimensioni, trovano collocazione nel controsoffitto del secondo piano interrato dove, inoltre, l'altezza di interpiano di 4 metri, permette una regolazione dello stesso senza particolari problematiche.

Lo stesso procedimento viene effettuato nel caso delle UTA e si trova:

Tab.87 Portata di ventilazione per i locali dell'UTA.

DESTINAZIONE D'USO	N°	AREA	VOLUME	PERSONE	VOLUMI QOP	PORTATA
		m ²	m ³	N°	10 ⁻³ m ³ /sP	m ³ /h
Aula studio		77,4	270,9	41	7	1544,37
Esposizione		117,6	411,6	18	6	2911,88
Laboratori	UTA1	97,2	340,2	20	7	1051,34
Piano-1		98,2	343,7	40	7	2811,01
Piano-2		449,18	1572,13	10	9	975,74
					TOT	9294,33
Palestra	UTA6	311,4	1089,9	30	16,5	2363,34

Le dimensioni trovate sono quindi:

Tab.88 Dimensione equivalente dei canali di ventilazione.

	P	V	ϕ	h	b
	m ³ /h	m/s	mm	mm	mm
UTA 1 TOT	9294,33	6	780	550	900
UTA 1 COLONNA MAX	3963,21	6	490	300	650
UTA 2	2363,34	5	400	350	400

In questo caso, le dimensioni delle condotte sono notevolmente superiori, soprattutto avendo considerato i punti con massima portata.

Date però le funzioni dei locali che necessitano tali condotte e data la destinazione dell'edificio, tutte le reti orizzontali è possibile lasciarle a vista, coerentemente al concept di semplicità, funzionalità ed economicità dell'intero edificio.

Per quanto riguarda la colonna verticale, avendo una dimensione limitata, non crea, invece problemi e può essere allocata in appositi vani addossati alla muratura.

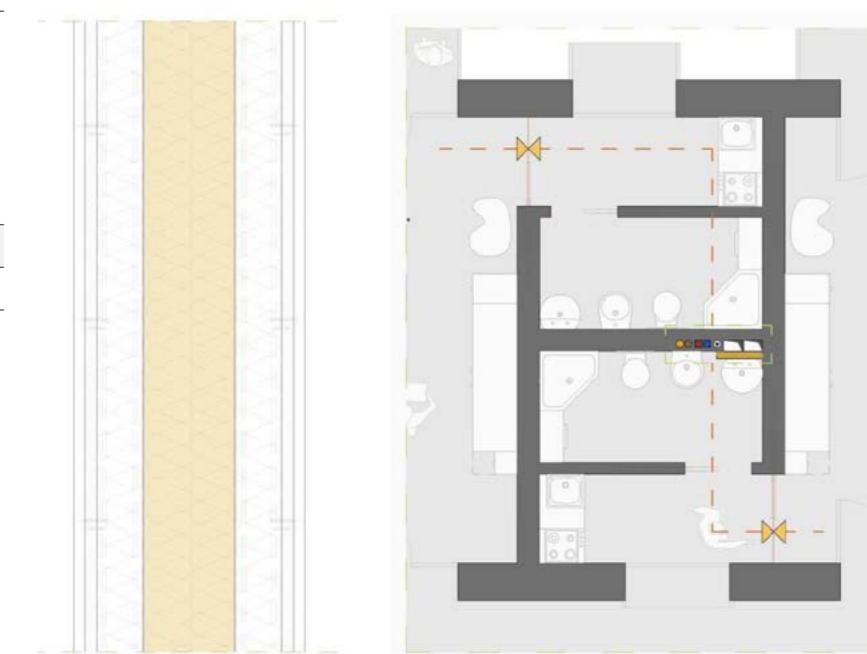


Fig.218 P.V.0.6: partizione con intercapedine impiantistica.

Fig.219 Vano per la colonna impiantistica in un appartamento.

6.3.9 POMPA DI CALORE

All'interno dello schema impiantistico, si è scelto di utilizzare una pompa di calore aria-acqua per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Poiché la macchina deve assolvere tutte queste funzioni si è scelto una unità di tipo polivalente, quindi in grado di raffreddare e contemporaneamente riscaldare l'acqua del serbatoio di accumulo per i sanitari.

Data la localizzazione dell'edificio in esame, Milano, si hanno le seguenti temperature estreme nelle stagioni estive ed invernali che influenzano la scelta della pompa di calore:

Tab.89 Condizioni esterne considerare nel calcolo.

INVERNO	ESTATE
T _{min}	T _{max}
°C	°C
-5	33

La potenza totale richiesta all'impianto è data dalla somma delle potenze precedentemente calcolate, sia per quanto riguarda l'acs (considerando i limiti di variabilità dell'impianto solare termico), i pannelli radianti e le unità di trattamento dell'aria. I valori di progetto sono quindi:

Tab.90 Potenza stagionale richiesta all'impianto.

Q _{radianti}	Q _{acs}	Q _{UTA}	Q _{tot}	
kW	kW	kW	kW	
7,58	25,12	73,33	106,03	RISCALDAMENTO
3,4	-	50,86	54,26	RAFFRESCAMENTO

Viene inoltre considerata la temperatura dell'acqua nei due casi per verificare che l'impianto sia in grado di produrla. Si sceglie la minima per quanto riguarda il raffreddamento e la massima per quanto riguarda il riscaldamento (che corrisponde a quella del serbatoio di accumulo):

Tab.91 Temperature massime e minime richieste alla pompa di calore.

θ _{vi}	
°C	
48	RISCALDAMENTO
15,5	RAFFRESCAMENTO

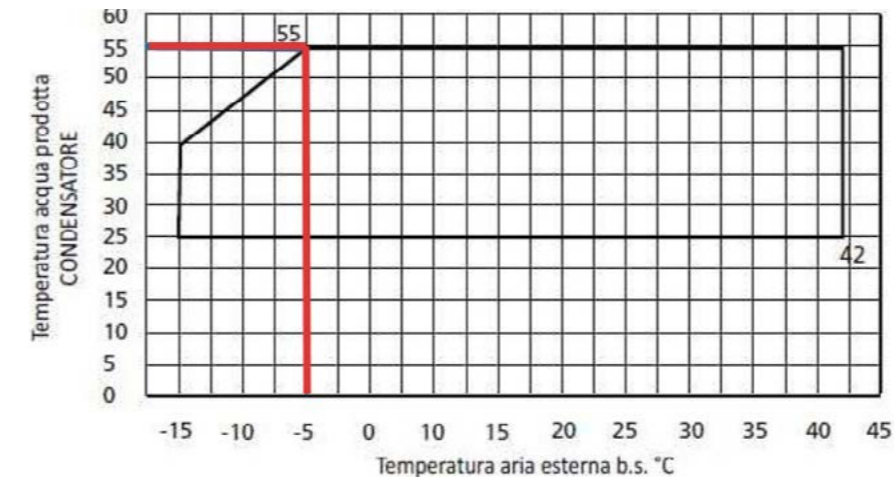
Il carico termico maggiore per l'immobile in oggetto è quello invernale quindi si parte da tale potenza termica per dimensionare la pompa di calore.

Si sceglie quindi una unità tipo "Aermec NRP", per cui occorre verificare che essa sia compatibile sia con le temperature esterne della località che con quelle di funzionamento dell'impianto appena citate.

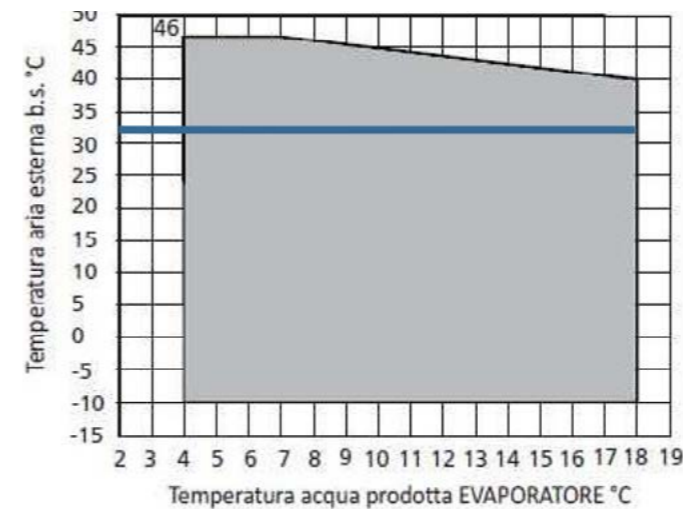
Il produttore fornisce le tabelle per valutare tali limiti riportate in Figura 52 e 53. Dal grafico si può vedere come, con una temperatura esterna di -5 °C, l'impianto produca acqua tra i 25 ed i 49 °C. Poiché la temperatura richiesta è minore, essa risulta adatta.

Dal grafico successivo si vede che, per quanto riguarda la fase estiva, alla temperatura esterna di 33°, essa riesce a produrre acqua tra i 4 e i 18 °C. Anche in questo caso l'unità scelta risulta adatta.

Come già detto la fase invernale risulta quella più critica e quindi quella alla base del dimensionamento. La grandezza della pompa, dipenderà quindi dalla potenza da erogare e dalla temperatura dell'aria esterna.



Graf.52 Limite di temperatura per la produzione dell'acqua in fase invernale.



Graf.53 Limite di temperatura per la produzione dell'acqua in fase estiva.

Dalle tabelle del produttore, si sceglie un modello tipo "Aermec NRP 0550", con una potenza di riscaldamento di 112 kW. Tale valore è però riferito ad una condizione pari a:

- temperatura acqua uscita condensatore 45°C;
- temperatura aria esterna 7°C b.s. 6°C b.u.

Si corregge quindi il valore tramite il grafico, contenuto nella scheda tecnica.

Tab.92 Potenza termica corretta.

T _{esterna}	T _{uscita scambiatore interno}	P _{termica}	P _{termica corretta}
°C	°C	kW	kW
-5	55	112	112*0,6=67

Si prende quindi un modello tipo "Aermec NRP 0550", che ha una potenza pari a 205 kW che corretto per lo stesso fattore raggiunge la potenza richiesta.

Tab.93 Potenza termica corretta.

T _{esterna}	T _{uscita scambiatore interno}	P _{termica}	P _{termica corretta}
°C	°C	kW	kW
-5	55	205	205*0,6=123

Nelle schede tecniche delle unità è riportato un altro fattore di correzione della potenza termica per tener conto dei cali di prestazione dovuti ai periodici sbrinamenti delle unità, ovvero 0,89 per una temperatura esterna di -5°C.

La potenza termica effettiva della pompa sarà quindi: 123*0,89=109,47 kW, sufficiente a coprire il fabbisogno.

E' necessario ora verificare con lo stesso procedimento che la pompa di calore

scelta sia adatta anche al funzionamento estivo.

La potenza di raffrescamento iniziale è 179 kW. Correggendo il termine, considerando una temperatura esterna pari a 33°C si ottiene $P=179 \cdot 1,3 \cdot 0,89=232,7$ kW.

La pompa di calore è quindi adatta per le necessità di progetto.

La dimensione dell'unità scelta è perciò 1,975x1,5x4,35 m. Si sceglie inoltre un modello silenziato dato il posizionamento del vano impianti.

Da notare è il fatto che, avendo una pompa di calore con recuperatore, nel caso estivo, la potenza necessaria per l'acqua calda sanitaria è completamente gratuita, data un potenza di recupero di 261 kW ampiamente maggiore di quella necessaria per tale scopo (circa 25 kW).

6.3.9.1 FABBISOGNO ENERGIA ELETTRICA

Una volta scelta la pompa di calore con le caratteristiche idonee a coprire il fabbisogno massimo sia in fase estiva che invernale, è stata calcolata l'energia elettrica consumata durante l'anno dalla stessa, al fine di valutare quanta di tale quantità fosse coperta dai pannelli fotovoltaici installati.

Per stimare il fabbisogno di elettricità, vengono introdotte due grandezze:

- il COP (Coefficient of Performance), che è il coefficiente di prestazione per funzionamento in riscaldamento, definito dal rapporto tra l'energia termica prodotta e l'energia elettrica assorbita, entrambe misurate in kWh, rilevate in laboratorio in condizioni normalizzate;
- lo EER (Energy Efficiency Ratio), ovvero il rapporto di efficienza energetica per funzionamento in raffrescamento, definito dal rapporto tra l'energia frigorifera prodotta e l'energia elettrica assorbita, entrambe misurate in kWh, rilevate in

laboratorio in condizioni normalizzate.

Entrambi tali valori sono ricavabili dalla scheda tecnica per precise condizioni di temperatura esterna e di temperatura dell'acqua prodotta. Essi però cambiano a seconda della variazione di tali parametri durante il corso dell'anno. La stessa scheda tecnica fornisce i coefficienti moltiplicativi per tenere in considerazione queste variazioni rispetto ai valori nominali.

Operativamente tali valori si ricavano con:

$$COP = \frac{Q_{term} C_1}{Q_{ass} C_2}$$

$$EER = \frac{Q_{frig} C_3}{Q_{ass} C_4}$$

In cui:

Q_{term} e Q_{frig} sono rispettivamente la potenza termica e frigorifera della macchina;

C_1 e C_3 sono i coefficienti correttivi in base a temperatura dell'aria e dell'acqua già riportati nel paragrafo precedente;

C_4 e C_5 sono i coefficienti da applicare alla potenza assorbita tratti dalle tabella da scheda tecnica riportate in Figura 54 e 55;

Q_{ass} è la potenza assorbita in entrambe le situazioni.

I valori nominali sono:

Tab.94 Parametri caratteristici della pompa di calore.

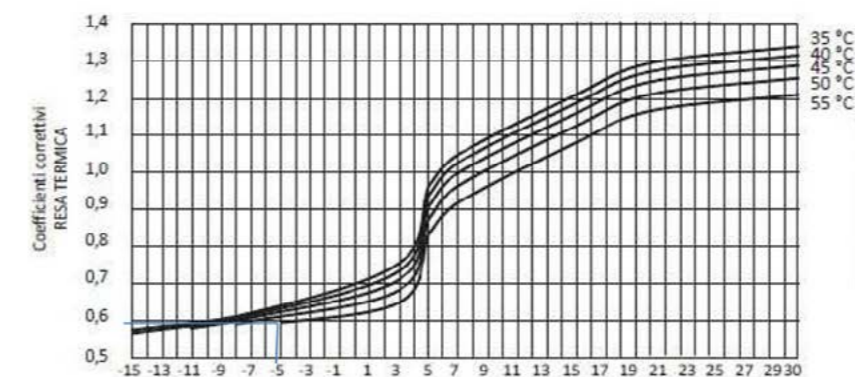
	Q	Q _{ass}	COP/EER
	kW	kW	
RISCALDAMENTO	205	61,4	3,34
RAFFRESCAMENTO	179	69,6	3,58

Poiché la temperatura dell'aria esterna è variabile nel corso dell'anno, si è scelto di suddividere il calcolo mensilmente, basandosi sui dati di temperatura media mensile forniti dall'ISTAT per Milano, ricavati tra il 2001 e il 2009. Per essere in favore di sicurezza si utilizzano i valori di temperatura minima nel caso invernale (15 Ottobre-15 Aprile) e massima nel caso estivo (15 Aprile-15 Ottobre):

Tab.95 Temperatura media mensile, ISTAT.

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU
°C	°C	°C	°C	°C	°C
-0,2	0,6	4,6	8,4/19,3	25	29,6
LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
°C	°C	°C	°C	°C	°C
31,2	30,4	25,5	10,9/19,7	5,7	0,4

Viene quindi calcolato il fabbisogno di calore dell'edificio per ogni mese, secondo il procedimento già esposto nel Paragrafo 6.3.6 sia nel caso del raffrescamento che del riscaldamento.



Tale potenza ricavata viene moltiplicata per le ore del mese in oggetto, ottenendo i valori di energia termica richiesta mensilmente dall'edificio.

Al fabbisogno per riscaldamento così calcolato è necessario aggiungere quello per la produzione dell'acqua calda sanitaria già calcolato che rimane costante tutto l'anno, ma viene considerato solo nel periodo invernale, poiché in estate viene prodotta tramite recuperatore.

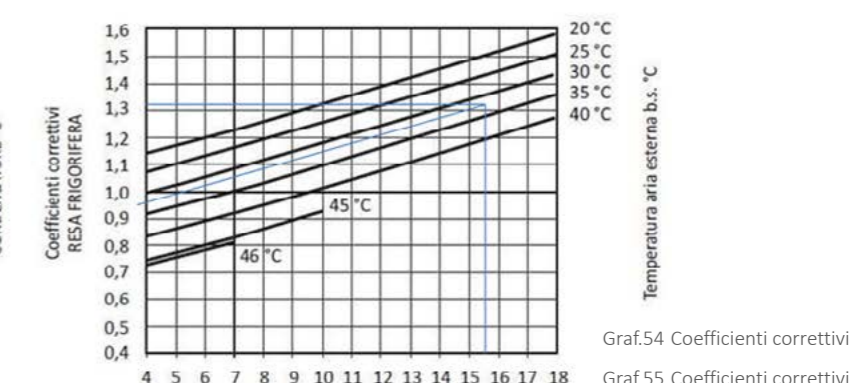
Per il calcolo dell'energia elettrica necessaria, si utilizza:

- $E_{EL} = \frac{E_{TERM}}{COP}$ per il riscaldamento;
- $E_{EL} = \frac{E_{RAFF}}{EER}$ per il raffrescamento.

Dove:

E_{TERM} e E_{RAFF} sono le energie termiche calcolate mensilmente, rispettivamente per il riscaldamento ed il raffrescamento;

COP e EER sono i due coefficienti di prestazioni corretti rispetto alle condizioni mensili con il metodo prima descritto.

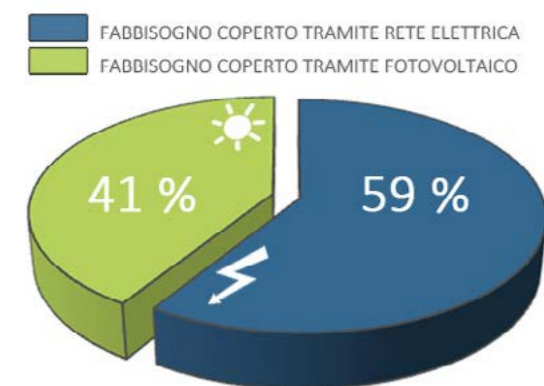


Graf.54 Coefficienti correttivi COP.
Graf.55 Coefficienti correttivi EER.

Sommata tutti i valori di energia ricavati, si trova il fabbisogno di energia elettrica richiesta dalla pompa di calore e viene confrontata con la quantità di tale energia coperta dall'impianto fotovoltaico installato.

Tab.96 Fabbisogno di energia coperto dall'impianto fotovoltaico.

$E_{el\ Riscaldamento}$	$E_{el\ Raffrescamento}$	$E_{el\ Totale}$	$E_{el\ fv}$	Eel coperta
kWh	kWh	kWh	kWh	%
34085,43	23684,89	57770,32	23713,42	41,05



Graf.56 Fabbisogno elettrico della Pompa di Calore coperto mediante impianto fotovoltaico.

6.3.10 SERBATOIO RECUPERO ACQUA PIOVANA

Tra i sistemi che riducono l'impatto ambientale dell'edificio, si ipotizza di riutilizzare l'acqua piovana per l'irrigazione di tetto giardino e corte interna, e per alcuni sanitari, come i wc e lavatrici.

Per il calcolo dell'acqua disponibile durante l'anno grazie alle precipitazioni, viene utilizzata la formula: $P = P_{MEDIA} * A * C$

Dove:

P è la portata annua effettiva accumulabile;

P_{MEDIA} è la portata di precipitazione media a Milano;

A è la superficie di copertura;

C è il coefficiente di deflusso che riduce la portata media annua considerando il materiale e la pendenza della copertura.

Considerando le diverse coperture dell'edifici, tutte comunque piane, si ha:

Tab.97 Portata d'acqua di precipitazione.

COPERTURA	A	C	P_{MEDIA}	
	m ²	l/m ² a	l/a	
Verde	260	1120	0,4	116480
Lamiera	221	1120	0,8	198016
Parquet	53	1120	0,8	47488
Selciato	51	1120	0,5	28560
TOT.		l/a		390544

Si calcola quindi il fabbisogno di acqua dell'edificio relativo al solo uso di acqua piovana basato su valori medi di utilizzo:

Tab.98 Fabbisogno d'acqua dell'edificio.

RESIDENZE			
DESTINAZIONE	P_{ANNUA}	N° o S	$P_{TOT} = P_{ANNUA} * N°$
	l/paa	p	l/a
wc	9125	25	228125
lavatrice	3650	25	91250
IRRIGAZIONE			
DESTINAZIONE	P_{ANNUA}	N° o S	$P_{TOT} = P_{ANNUA} * S$
	l/m ² aa	m ²	l/a
copertura	60	260	15600
Tot.		l/anno	334975

E' possibile notare che l'acqua recuperata dalle precipitazioni permette di coprire interamente il fabbisogno richiesto per le residenze e per l'irrigazione.

Per calcolare, infine, il volume del serbatoio, necessario per accumulare tale portata di acqua piovana, si utilizza:

$$V = \frac{P * G_{SECCHI}}{365}$$

In cui:

P è la portata annua di precipitazione precedentemente calcolata;

G_{SECCHI} è il periodo di riserva di sicurezza;

365 sono i giorni dell'anno.

Si ottiene:

Tab.99 Volume del serbatoio.

P	G_{SECCHI}	V
l/a	g/a	l
334975	21	19272,53

Un serbatoio di tale capacità necessiterebbe una lunghezza di circa 6 m, e troverebbe allocazione nel vano impianti che dovrebbe avere dimensione maggiore per contenerlo. Questo significherebbe ridurre lo spazio destinato alle cantine delle residenze, ma considerando che l'edificio in esame si trova nel centro di Milano, dove la superficie utile ha alto valore economico, si reputa conveniente diminuire tale volume di accumulo, dimezzando il fabbisogno coperto.

Il nuovo volume del serbatoio risulta quindi:

Tab.100 Volume del serbatoio.

P	G_{SECCHI}	V
l/a	g/a	l
167487,5	21	9636,27

Si sceglie perciò un serbatoio da 10000 l, tipo " Aquarius INSM 10000 " con dimensioni 3,2 x 2,35 m e altezza 2,25 m.

6.3.11 COSTRUIBILITA'

Il problema principale di fattibilità del sistema impiantistico, è la connessione tra le tubazioni presenti nei singoli moduli prefabbricati.

Le colonne già precedentemente citate, vengono predisposte in stabilimento all'interno della parete divisoria del container, la quale divide due unità abitative o funzionali differenti. In questo modo entrambe giungono in cantiere già connesse alla colonna generale, e le operazioni in opera da svolgere rimangono solo quelle interne all'unità stessa, quindi molto più semplici e con maggiore libertà di azione, mediante cavedi a pavimento o soffitto.

La difficoltà maggiore che si riscontra in cantiere, è la connessione verticale dei

diversi elementi delle colonne sovrapposti e associati ai singoli container.

Tali tubazioni vengono collegate mediante infilaggio dall'alto, utilizzando elementi a bicchiere come parti terminali della colonna sottostante.

Questo tipo di giunto permette di garantire il collegamento e di evitare perdite soprattutto di liquidi verso il basso.

Inoltre, la connessione al di sopra del piano di calpestio, permette una facile conclusione della lavorazione da parte dell'operaio specializzato, che al termine, chiuderà il cavedio lasciato a tale scopo e ristabilirà la continuità della parete.

Per quanto riguarda le bocchette di areazione, esse si connettono ai canali posti nel controsoffitto del container inferiore nello stesso modo, lavorando però a pavimento.

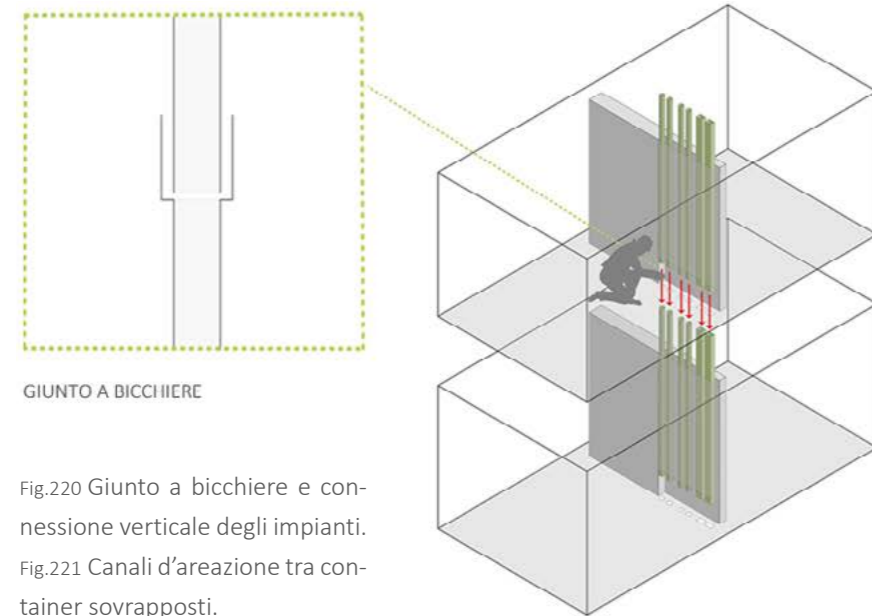
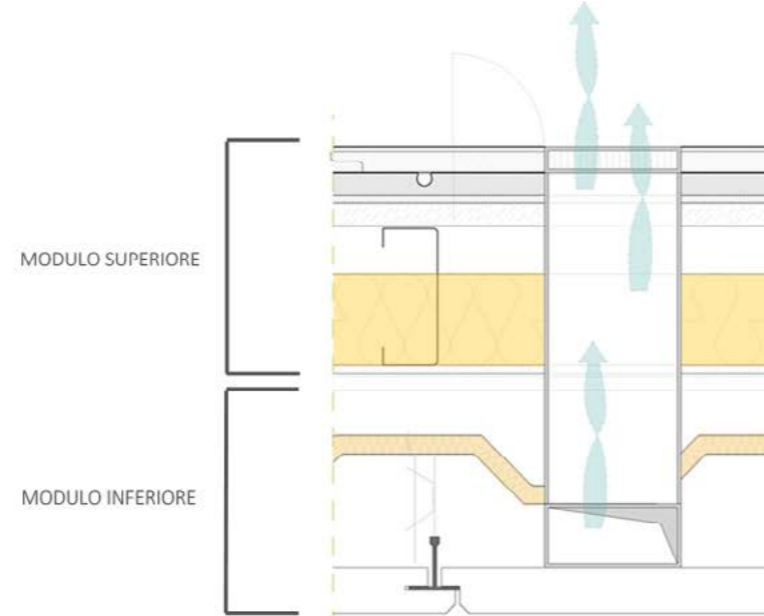


Fig.220 Giunto a bicchiere e connessione verticale degli impianti.
Fig.221 Canali d'areazione tra container sovrapposti.



6.4 CERTIFICAZIONE ENERGETICA: CENED

Per verificare le effettive prestazioni dell'edificio, sia a livello di involucro che di sistemi impiantistici, è stata effettuata una simulazione di certificazione energetica secondo le disposizioni della regione Lombardia, tramite il software CENED.

Poiché l'edificio si compone di destinazioni d'uso differenti, è stato necessario separare le certificazioni tra la parte del fabbricato adibita a residenza, e quella in cui vengono svolte attività pubbliche o comuni.

Il software considera diversamente queste due tipologie di destinazione; la prima,

infatti, viene valutata rispetto alla superficie, la seconda rispetto al volume.

Nel caso delle residenze, l'edificio risulta in classe energetica A, sia nel caso dell'energia primaria che dell'energia termica (legata alla fase estiva).

Nel caso della parte di edificio comune o pubblica, il fabbricato si colloca in classe A+ per quanto riguarda l'energia primaria, ed in classe A, nel caso dell'energia termica.

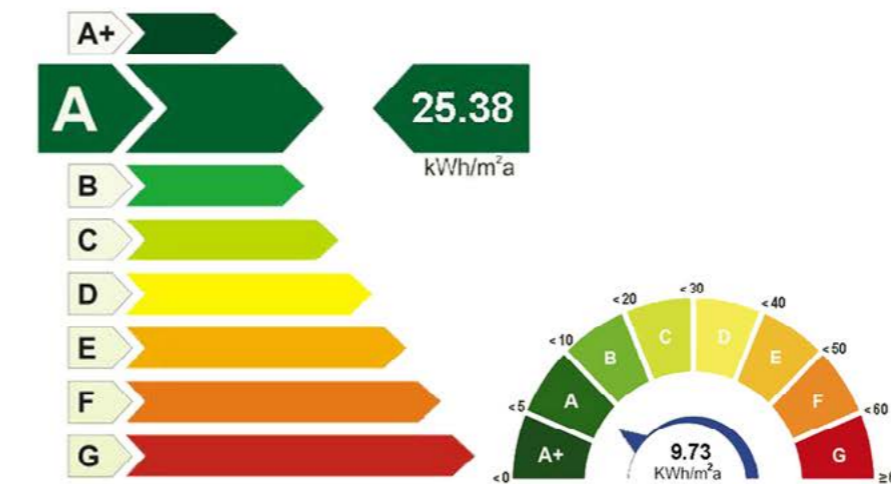


Fig.222 Certificazione energetica residenza: Energia Primaria ed Energia Termica.



Fig.223 Certificazione energetica residenza: Energia Primaria ed Energia Termica.

Nel presente capitolo si vuole dare una spiegazione della configurazione generale dell'edificio in esame dal punto di vista strutturale spiegando come sia possibile creare una struttura completa che lavori in modo solidale, pur essendo composta da un basamento in calcestruzzo e dall'assemblaggio di moduli tridimensionali in acciaio.

Si esplicano le condizioni iniziali di partenza per quanto riguarda il contesto in cui si colloca il fabbricato considerato, per poi valutare le azioni che lo stesso genera sull'edificio. Definite le condizioni strutturali da valutare, si mostra come tutti gli elementi strutturali scelti per il sostegno dell'edificio, siano dimensionalmente plausibili attraverso pre-dimensionamenti o verifiche basate sulla normativa vigente. Questo studio, infatti, non ha la pretesa di verificare singolarmente ogni unità costituente la struttura, ma si pone l'obiettivo di dimostrare che la configurazione ipotizzata si realistica.

Si è scelto di trattare con maggiore approfondimento le parti che compongono gli elementi modulari, poiché maggiormente significative dal punto di vista della sperimentazione del progetto. Per questi elementi si dimostrata inoltre la costruibilità e la possibilità di connessione tra gli stessi e le altre parti del fabbricato, mediante l'esplicazione di nodi tecnologici. Si riportano infine i calcoli relativi alle parti eseguite con tecnologie tradizionali, con particolare riferimento al corpo scale controventante dell'edificio, realizzato anch'esso in calcestruzzo armato.

7.1 ANALISI PRELIMINARI

7.1.1 COMPONENTE GEOLOGICA

Per quanto riguarda questo ambito di analisi, si è fatto riferimento alla *Relazione Illustrativa del PGT* di Milano dell'Ottobre 2009.

Innanzitutto si propone una descrizione, in successione cronologica dalla più antica alla più recente, delle diverse unità che compaiono nell'area di studio al fine di comprendere la struttura geologica di superficie:

- Diluvium Antico: è costituita da ghiaie a supporto di una matrice abbondante, prevalentemente sabbioso – argillosa di colore giallo – ocreo;
- Diluvium Medio: le aree di affioramento di questa unità si trovano sempre nella porzione settentrionale dell'area interessata. I sedimenti sono essenzialmente di natura ghiaiosa con ciottoli molto arrotondati aventi diametro medio di circa 10 cm, immersi in una matrice abbondante di colore giallo – marrone, a tessitura argilloso – sabbiosa;
- Diluvium Recente: sono così definiti i depositi di natura ghiaioso – sabbiosa. E' presente in superficie anche un orizzonte limoso – sabbioso di alterazione, dello spessore di 70/100 cm circa. Da un punto di vista tessiturale è infatti possibile distinguere tre fasce, denominate zona a ghiaie prevalenti, zona a ghiaie e sabbie e zona a sabbie prevalenti, con progressivo aumento delle componenti granulometriche fini da Nord a Sud. In riferimento a questa suddivisione, l'area di studio si inquadra nella zona a ghiaie e sabbie.

Osservando la carta litologica presente nel *PGT*, in particolare nella *Tavola G 01_*

Carta Litologica si può verificare che nell'area di progetto si può trovare l'unità litologica superficiale G1, ovvero ghiaia e sabbia. Le aree identificate su questa carta sono state definite in base alla classificazione ERSAL in cui il codice appena definito si distingue in:

Tab.101 Classificazione ERSAL.

CODICE ERSAL	Codice	Definizione
G1	G1P	Ghiaie poco gradate
	G1PS	Ghiaie poco gradate con sabbia
	G1W	Ghiaie ben gradate
	G1WS	Ghiaie ben gradate con sabbia

Nella *Carta di Fattibilità Geologica*, la zona interessata dall'area di progetto è collocata in categoria F1, ovvero in cui la fattibilità risulta con modeste limitazioni.



Fig.224 Stralcio Tavola G01_Carta litologica PGT.

In generale l'area di Milano si inquadra nella media pianura alluvionale in cui, dal punto di vista morfologico, sono riconoscibili solo i terrazzi fluviali attuali, anche questi parzialmente cancellati dall'attività antropica di rimodellamento. In tale contesto, dunque, l'aspetto più rilevante è legato all'intensa antropizzazione che incide profondamente sui processi morfogenetici naturali, soprattutto con il controllo della circolazione idrica superficiale e l'impermeabilizzazione del suolo ad opera di coperture artificiali. Il reticolo idrografico risulta intensamente regimato ed il territorio pianeggiante è interrotto da piccole scarpate ed avvallamenti di esclusiva genesi antropica.

7.1.2 COMPONENTE IDROGEOLOGICA

Anche dal punto di vista idrogeologico, l'area di progetto non è sottoposta a particolari vincoli.

Una problematica da valutare è l'altezza della falda acquifera, che a Milano non si trova a profondità elevate e potrebbe quindi rappresentare un problema nel caso di edifici con più piani interrati. Dall'analisi delle sezioni geologiche del *PGT*, infatti, si nota come le aree favorevoli allo sfruttamento delle riserve idriche siano di rilevante estensione fino a due terzi della città. In generale la quota di tale risorsa idrica è a 104-106 m s.l.m. e, poichè l'area di progetto si trova a 121 m s.l.m., fino a circa 15 m di scavo è possibile costruire senza particolari problemi per quanti riguarda questa tematica. L'idrografia dell'area milanese è piuttosto complessa anche a causa dei numerosi interventi effettuati nel corso dei secoli: questi interventi idraulici sulle acque traggono origine dalla risoluzione della questione dello scarico dei reflui prima ancora di quello della regolazione dei diversi corsi d'acqua, naturali ed artificiali, che attraversano la città.

Il dato fondamentale che si può osservare nell'area milanese è l'andamento dei corsi d'acqua, all'incirca paralleli fra di loro, e con direzione di scorrimento da Nord-Ovest verso Sud-Est, in corrispondenza della direzione di pendenza del piano padano.

A Nord-Ovest entrano in città vari corsi d'acqua, il principale dei quali è il torrente Seveso, proveniente dai rilievi morenici del comasco; segue per la via Ornato e con un percorso sotterraneo confluisce nella Martesana in via Melchiorre Gioia.

Osservando le carte presenti nel *PGT*, in particolare la *Tavola G02_Carta Idrogeologica*, si nota comunque che non sono presenti in corrispondenza dell'area di progetto, nè specchi d'acqua, nè parte del reticolo idrico principale o secondario. Anche eventuali fontanili risultano assenti.

Nonostante la fascia di rispetto con zone di tutela assoluta si trovi a distanza ravvicinata dall'area in esame, nella stessa non risultano particolari problematiche legate a questi temi.

-  SPECCHI D'ACQUA
-  RETICOLO IDRICO PRINCIPALE
-  RETICOLO IDRICO MINORE
-  FASCE DI RISPETTO (200 m)
-  ZONA DI TUTELA ASSOLUTA (10 m)
-  UBICAZIONE DELLA STAZIONE
-  AREA DI PROGETTO

Fig.225 Stralcio Tavola G02_Carta Idrogeologica PGT.



7.2 IL PROGETTO STRUTTURALE

Come già detto, la peculiarità dell'edificio in esame è l'utilizzo di una tecnologia modulare prefabbricata. Questa caratteristica influenza il progetto anche dal punto di vista strutturale.

Il primo vincolo, dato da questa particolarità, riguarda la sovrapposibilità degli elementi per quanto riguarda l'altezza. Poichè questa tecnologia, deriva dal campo di applicazione industriale e dei trasporti delle merci, è noto che, dati gli elementi di aggancio tra le parti, non è possibile avere più di quattro moduli disposti verticalmente. Poichè l'edificio si compone di cinque livelli fuori terra, questa problematica è stata risolta, creando un basamento in calcestruzzo armato, corrispondente al piano terra, sul quale scaricano i quattro piani successivi composti da elementi modulari, la cui struttura è totalmente in acciaio, come verrà spiegato in seguito. [Rif. Tavola 56]

Il livello 0, si pone come la prosecuzione dei piani interrati, tutti in calcestruzzo armato. Anche i setti con funzione controventante per l'edificio sono caratterizzati dallo stesso materiale.

La continuità tra questi elementi, da un lato, può apparire in contrasto con la leggerezza della struttura dei moduli, ma è giustificata; i piani interrati, infatti, per la presenza delle pareti controterra, sono vincolati all'uso della tecnologia cassero-getto, perciò, differenziare il piano terra, utilizzando un sistema a telaio in acciaio, avrebbe introdotto un'ulteriore differenziazione costruttiva, dimostrandosi poco pratico a livello di esecuzione materiale. Inoltre, per motivi di stabilità, anche il corpo scale è necessariamente in calcestruzzo, validando ulteriormente la scelta fatta.

7.2.1 LIVELLI IN C.A.

Come appena accennato, i piani interrati ed il piano terra hanno una struttura in calcestruzzo armato.

Partendo dal livello-2 [Rif. Tavola 47], si può notare che l'edificio si posa su una platea in c.a. su cui si innestano i muri controterra e i pilastri che sostengono i piani superiori. Proseguendo in altezza si trovano le travi di bordo e centrali che creano un reticolo per la soletta composta da una lamiera grecata collaborante.

E' presente inoltre la necessità di avere un numero limitato di pilastri nella parte sottostante alla corte, viste le destinazioni d'uso presenti. Per questo, nel caso del solaio tra livello-1 e-2, e del piano superiore, in alcune campate centrali, è presente un solaio a piastra, data la luce, molto maggiore rispetto a quella coperta dalla lamiera.

Il piano-1 [Rif. Tavola 49] è la prosecuzione di quello inferiore, mentre al il livello 0 [Rif. Tavola 50], i setti controterra, sono sostituiti da pilastri in c.a. su cui si innestano le travi. Su di esse si collocano i moduli prefabbricati, già dotati della propria soletta, non risulta perciò necessario, in questo caso, l'uso di un solaio collaborante, se non nel caso della copertura della parte terminale del livello 0, poichè ospita un terrazzo verde.

Nei piani interrati, come in tutti i livelli fuori terra, sono presenti, infine, i setti continui dell'elemento controventante l'edificio.

7.2.2 I MODULI IN ACCIAIO

All'interno dell'edificio, gli elementi modulari, sono posati dal livello +1 al piano +4 e sono divisi in due blocchi separati dal vano scale centrale. [Rif. Tav 48 ÷ 56]

La scelta di una struttura in acciaio, deriva, come già spiegato nel Capitolo 5 da necessità di movimentare ogni elemento che deve quindi risultare leggero ma solido. Inoltre, l'acciaio, in sede di prefabbricazione risulta più pratico e veloce, rispetto al calcestruzzo, poichè il primo, permette di montare immediatamente le varie parti con connessioni semplici di tipo meccanico, senza obbligo di costruzione di casseforme e di attese di maturazione del getto.

Inoltre, il modulo prefabbricato, deriva da una tecnologia già utilizzata, ovvero quella dei container industriali, presenta già elementi strutturali ottimizzati per le funzioni che deve svolgere, e connessioni universali per la sua posa in opera.

Per la definizione della struttura di partenza utilizzata all'interno dell'edificio in esame, come nel caso dei pacchetti tecnologici, il punto di partenza è stato il container industriale tipo " Grand Desert Edilsider " poichè sovrapponibile per quattro livelli. Attraverso predimensionamenti e verifiche, è risultato necessario adattare tale configurazione, per la destinazione d'uso ed i carichi agenti sull'edificio qui analizzato.

La struttura finale, verificata nei capitoli successivi è quella riportata in Figura 226 e 231 dove si rappresenta uno schema assonometrico per una migliore comprensione.

Come per il modello industriale, preso come base, è presente una struttura principale di travi di bordo e pilastri ad ogni angolo. Nella parte inferiore gli elementi strutturali orizzontali sono di dimensione maggiore rispetto a quelli superiori, poichè sono i primi a dove reggere il carico della soletta. In entrambi i casi, inol-

tre, si fa uso di profili tubolari data la presenza di elementi a sbalzo che applicano su di essi momento torcente su di essi, e, come noto, i profili chiusi resistono meglio a tale sollecitazione.

Anche i pilastri sono tubolari, per motivi sia di resistenza alle sollecitazioni, che di costruibilità. Infatti, tutti gli elementi strutturali, del modulo, risultano saldati, come nel caso di quelli industriali, per dare la corretta rigidità.

La presenza ai quattro angoli delle unità di giunzione con gli altri moduli, ovvero i Corner Casting che verranno successivamente spiegati, anch'essi saldati alle altre parti, ha influenzato la scelta di pilastri di tipo tubolare quadrato, per non avere scarti di saldatura, o elementi che non coincidessero tra loro come dimensioni, creando spigoli in rilievo esterni al blocco. Per quanto riguarda l'orditura del solaio, sono stati utilizzati profili pressopiegati in lamiera di acciaio, ad un interasse limitato, su cui viene posata la stratigrafia.

Infine, come nel caso dei container industriali, la rigidità della struttura è assicurata mediante lamiere grecate in acciaio, saldate al telaio di base, tranne nel caso della soletta inferiore dove, il controventamento è assicurato mediante tiranti a croce, posti nel piano orizzontale.

ELEMENTI IN ACCIAIO
ELEMENTI IN C.A.

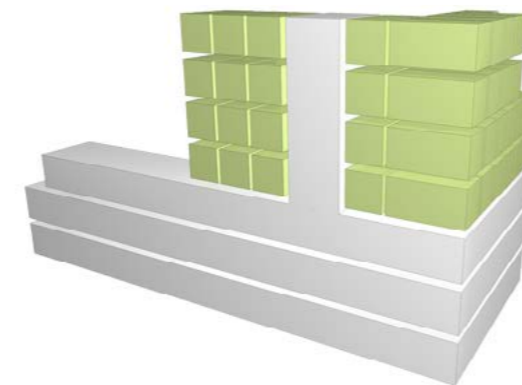


Fig.226 Suddivisione dell'edificio secondo la tipologia strutturale.

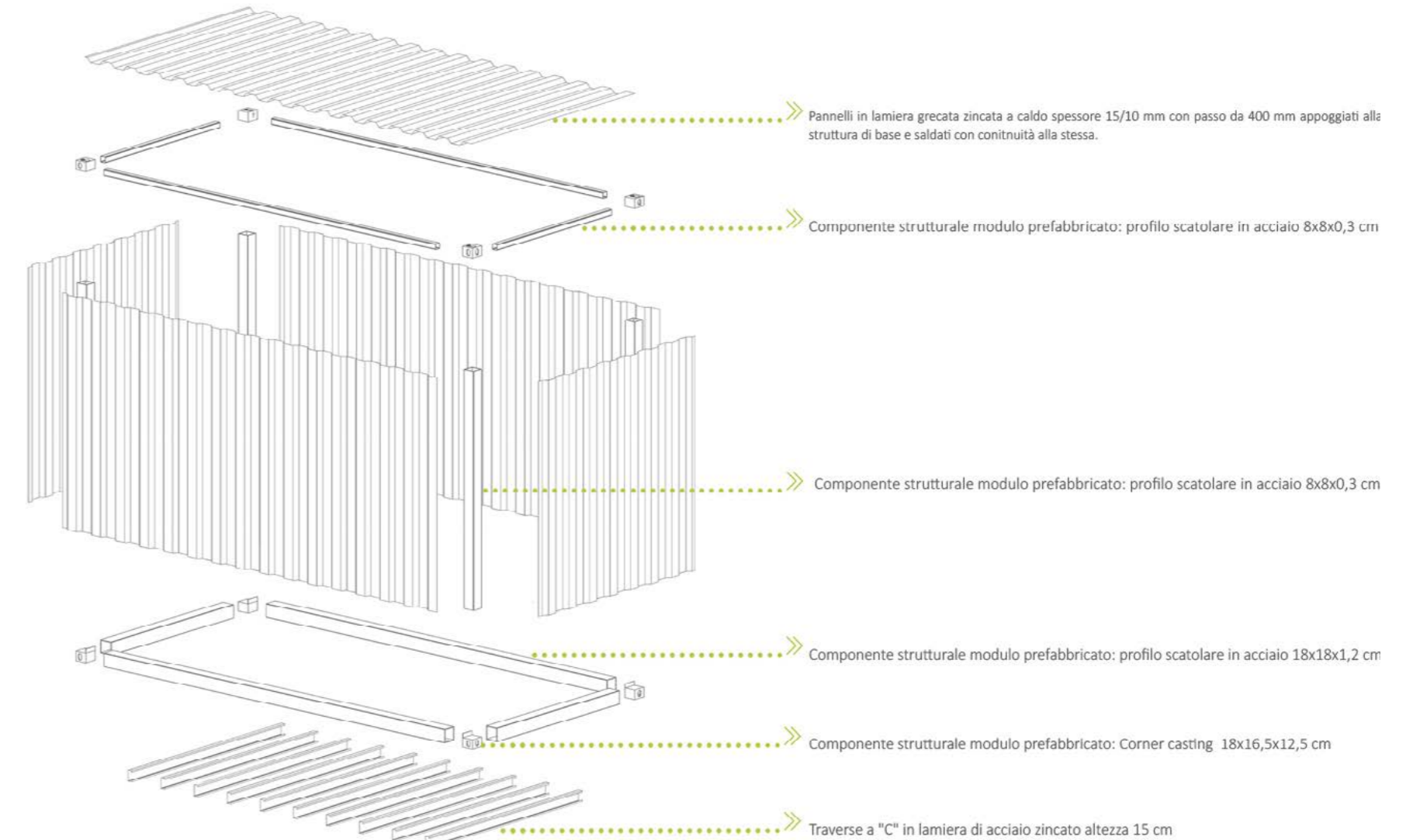


Fig.227 Spaccato assonometrico della struttura dei moduli prefabbricati.

7.2.3 GLI ELEMENTI A SBALZO

Come si può notare dalle piante strutturali, quasi tutti i moduli ai lati opposti presentano corpi a sbalzo, che corrispondono alle serre ed alle cornici di cui si è parlato nei capitoli precedenti.

La struttura dei moduli, inoltre è stata predisposta per sostenere tali carichi, come già detto, non solo a livello di forma di profili ma anche con la predisposizione di

determinati elementi di affrancaggio delle parti a sbalzo che sono anch'esse prefabbricate

Serre e cornici, presentano entrambe il medesimo tipo di struttura, in cui anche in questo caso tutti gli elementi sono saldati. Per garantire la leggerezza vengono utilizzati profili presso piegati a freddo in acciaio con spessore molto sottile.

Per quanto riguarda soletta e copertura, presentano dei profili a "U" con funzione di travi di bordo, per evitare lo sbandamento delle parti effettivamente a sbalzo che corrispondono allo stesso tipo di sezione ma disposti trasversalmente.

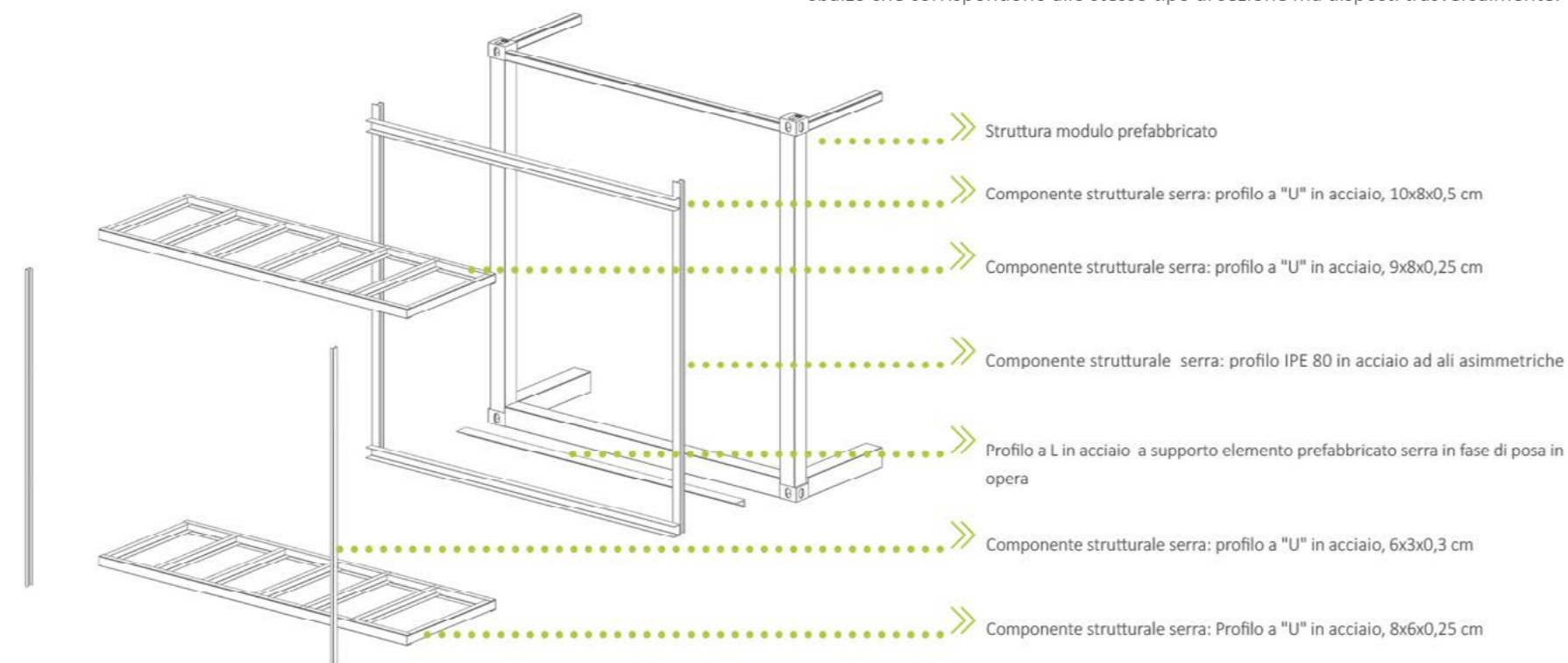


Fig.228 Spaccato assometrico dei componenti strutturali degli elementi a sbalzo.

Al fine di diminuire la freccia causata dai carichi, sono stati utilizzati elementi verticali sempre della stessa forma con funzione di tirante, ai due angoli esterni.

La problematica principale, riscontrata per le parti a sbalzo è stato il giunto con la struttura principale. Poichè sia serre e cornici che i moduli giungono in cantiere già pressochè completi, la difficoltà è stata trovare una metodologia per definire un incastro che necessitasse il numero inferiore possibile di operazioni in opera sia di affrancaggio che di finitura.

L'obbligo di avere un incastro deriva dal fatto che un giunto a cerniera creerebbe una freccia ampiamente maggiore dei limiti imposti dalla normativa. In questo caso, sarebbe necessario aggiungere dei tiranti ma essi sarebbero a vista, ed in un contesto come brera, non risulterebbero adatti.

L'elemento ad incastro invece, presenta difficoltà dal punto di vista costruttivo, poichè necessità di bullonature in tre punti, per poter trasmettere taglio e momento alla struttura principale.

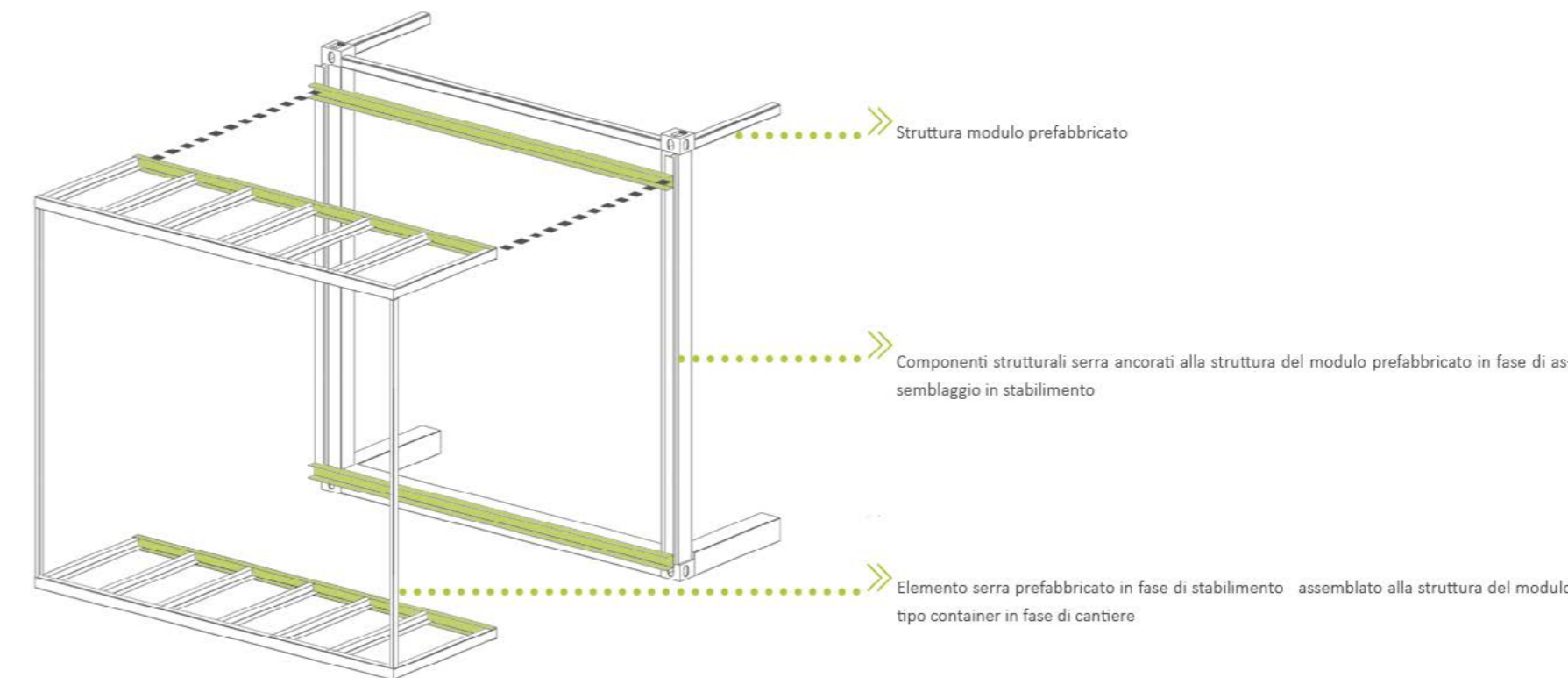


Fig.229 Spaccato assometrico della connessione tra elemento a sbalzo e struttura dei moduli.

La problematica maggiore risulta nella parte esterna della soletta e della copertura degli elementi a sbalzo, poichè difficilmente raggiungibile con gli strumenti di serraggio. L'unica possibilità di effettuare questa operazione è dalla parte interna di serre o cornici.

Infine, un'altra problematica è data dal fatto che le travi di bordo superiore ed inferiore del lo sbalzo sono traslate verticalmente rispetto a quelle del modulo per garantire gli allineamenti a livello di finitura del solaio tra interno ed esterno, e per motivi di equilibrio formale nelle facciate.

La soluzione maggiormente ottimizzata a cui si è giunti, dopo diverse analisi, è quella rappresentati in Figura 229 : la struttura del modulo viene "portata" all'esterno tramite un profilo ad "I" saldato superiormente ed inferiormente agli elementi principali del modulo. A questo profilo viene fissato allo stesso modo, in sede di prefabbricazione, un elemento a "U" nei punti dove si aggancerà la struttura a sbalzo.

Quest'ultima, avendo anch'essa una trave di bordo a "U" parallela a quella nominata, sia nella soletta che nella copertura, viene infilata in quella saldata alla struttura principale. Questi due profili vengono poi imbullonati insieme in corrispondenza delle ali e dell'anima, rispettivamente a destra ed a sinistra di ogni profilo trasversale che trasmette il momento.

Dati i vincoli prima esplicitati, queste operazioni sono possibili grazie alla predisposizione di dadi presaldati in punti specifici dei profili in fase di prefabbricazione, e mediante la presenza di cavedi nella stratigrafia che vengono poi eliminati in opera a conclusione del montaggio, con semplici operazioni ripetitive e con elementi di dimensioni già definite in precedenza.

7.2.4 ELEMENTI CONTROVENTANTI

Ipotizzando che ogni modulo sia singolarmente controventato, e che le connessioni predisposte tra gli stessi, permettano la formazione di un piano rigido, è stato predisposto un elemento di controvento che corrisponde al vano scale, in calcestruzzo armato.

Esso è composto da tre setti, disposti ad "U" che sono approssimabili a tre carrelli che definiscono un sistema iperstatico, per assorbire le spinte orizzontali provenienti dalle due direzioni. Infatti, data la forma ad "L" dell'edificio, non è presente una direzione di spinta prevalente.

Questi tre setti partono dai piani interrati ed attraversano l'edificio in tutta la sua altezza. Dal livello +1 a seguire, ad esso vengono connessi i moduli, grazie ai giunti già nominati, che verranno in seguito descritti.

L'utilizzo di un controvento in calcestruzzo e non in acciaio, deriva dalla necessità di mantenere un'adeguata rigidezza strutturale data la composizione della struttura in diverse parti originariamente slegate e successivamente rese continue solo in opera, e di mantenere uno spostamento orizzontale limitato come verrà verificato nei capitoli successivi.

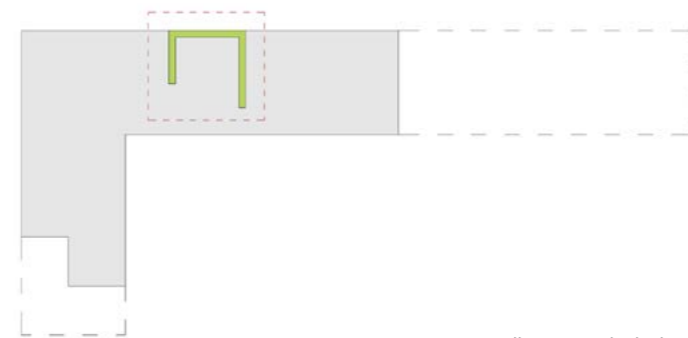
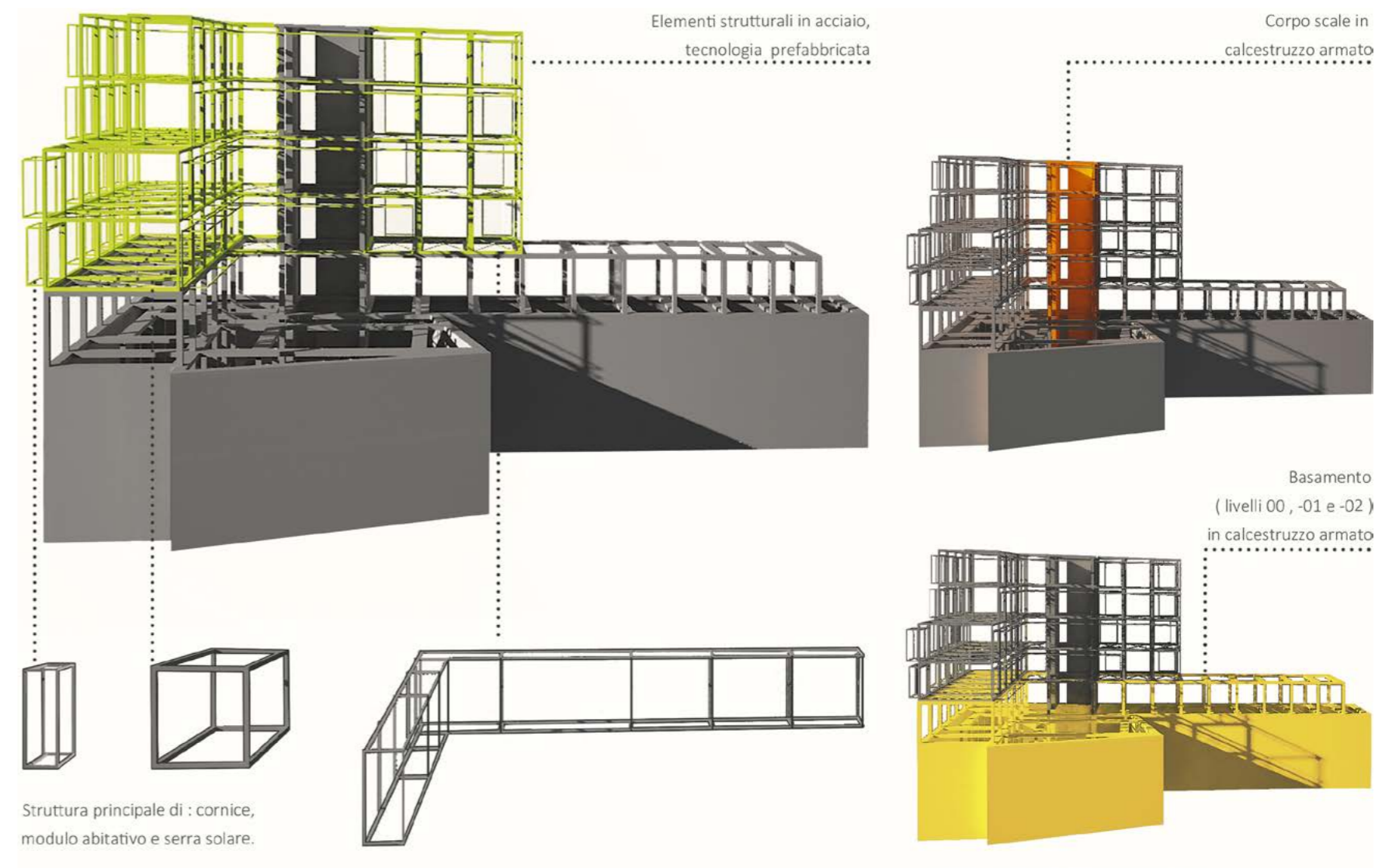


Fig.230 Collocazione degli elementi controventanti.



Struttura principale di : cornice, modulo abitativo e serra solare.

Fig.231 3D strutturale.

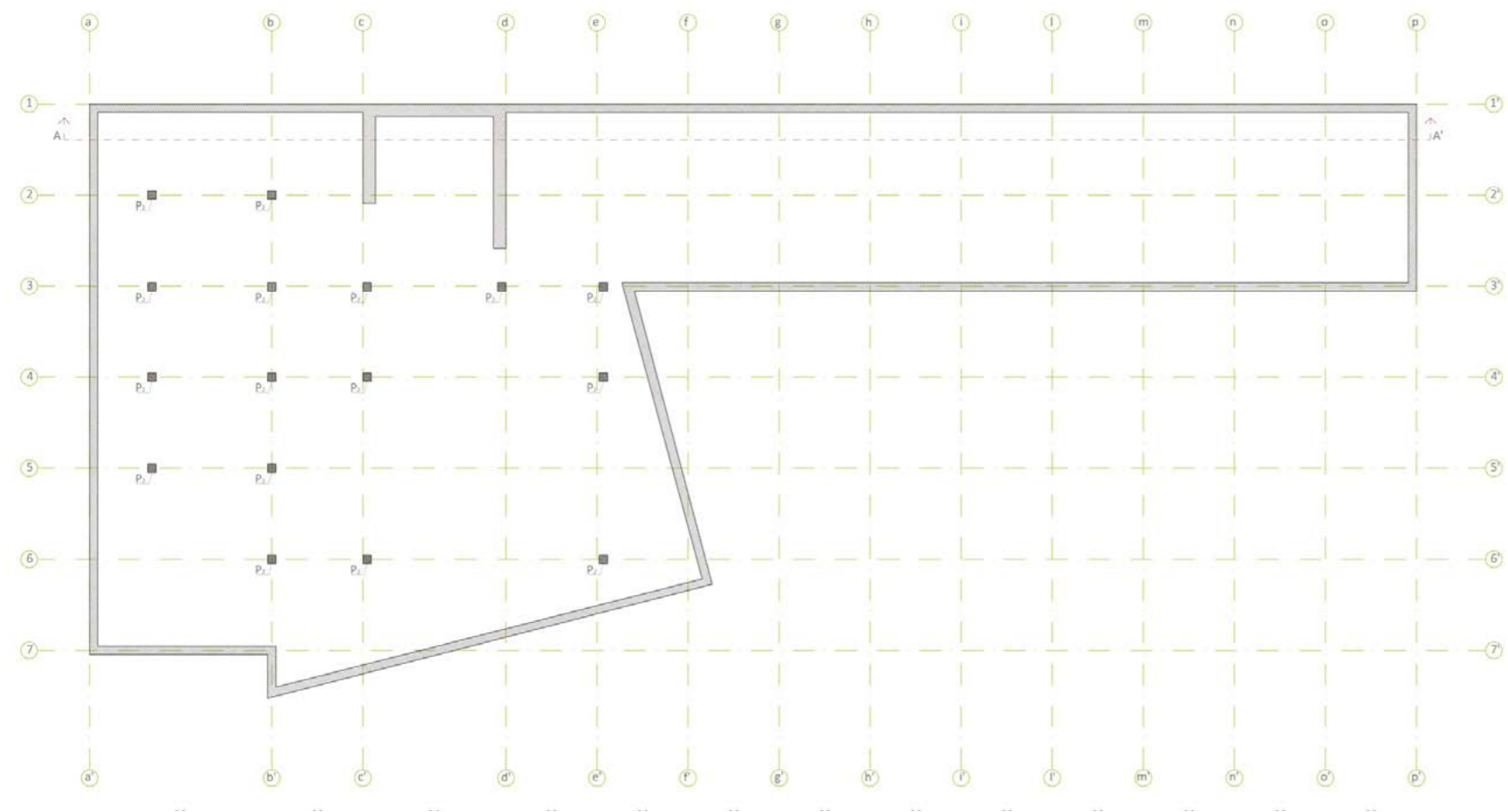


Fig.232 Pianta livello -2.

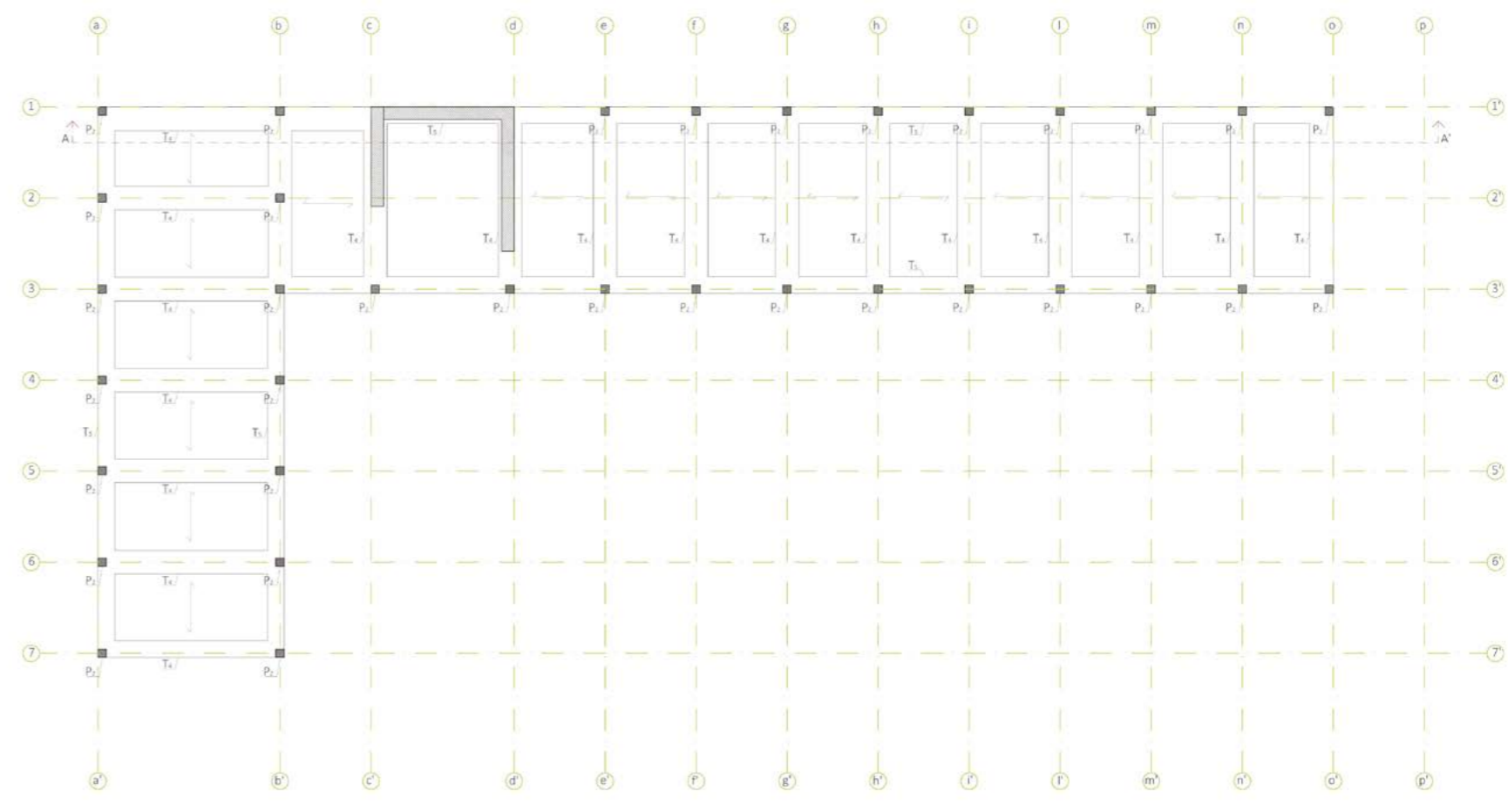


Fig.233 Pianta strutturale Livello 0.

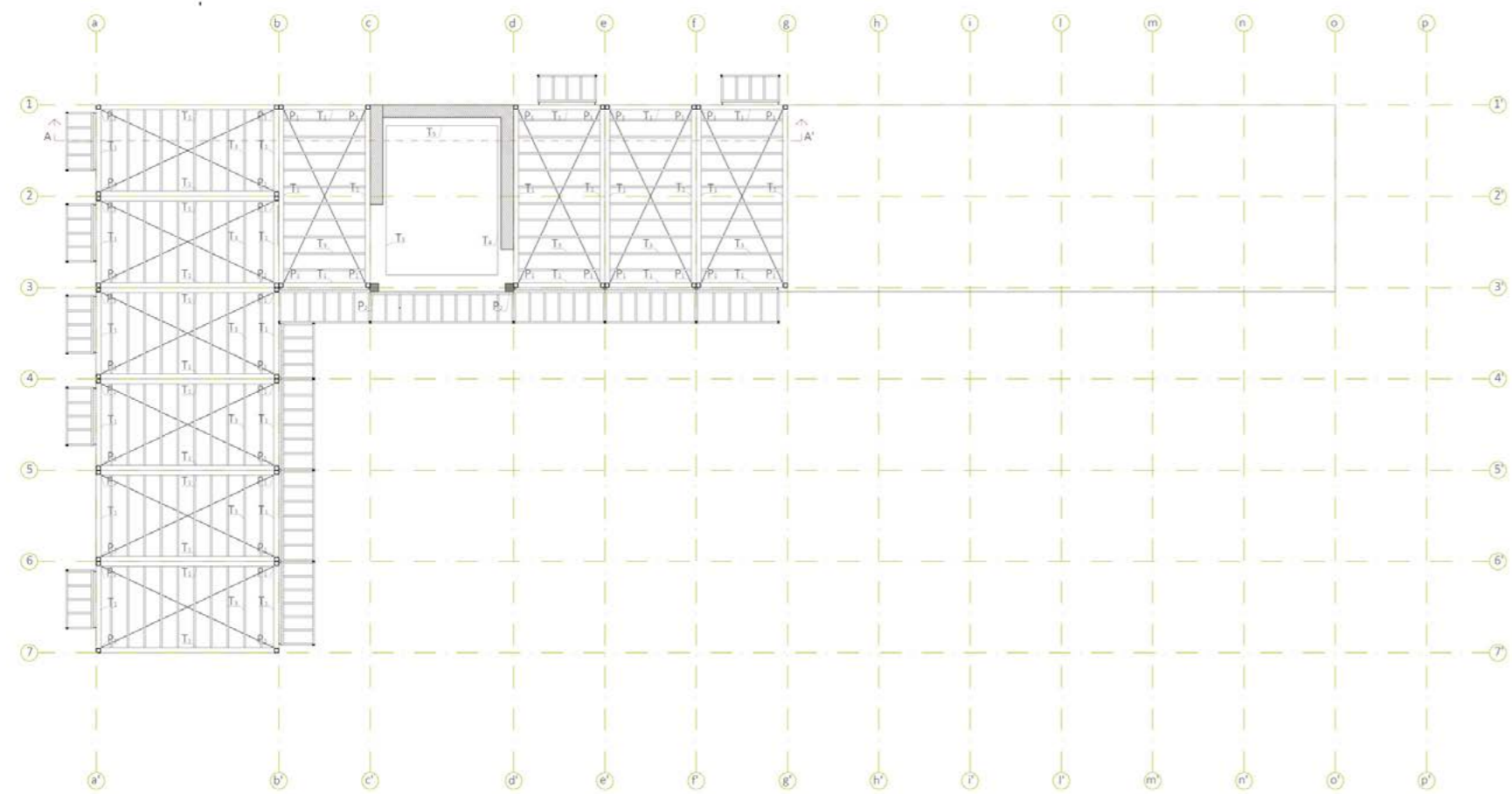


Fig.234 Pianta strutturale Livello +2.

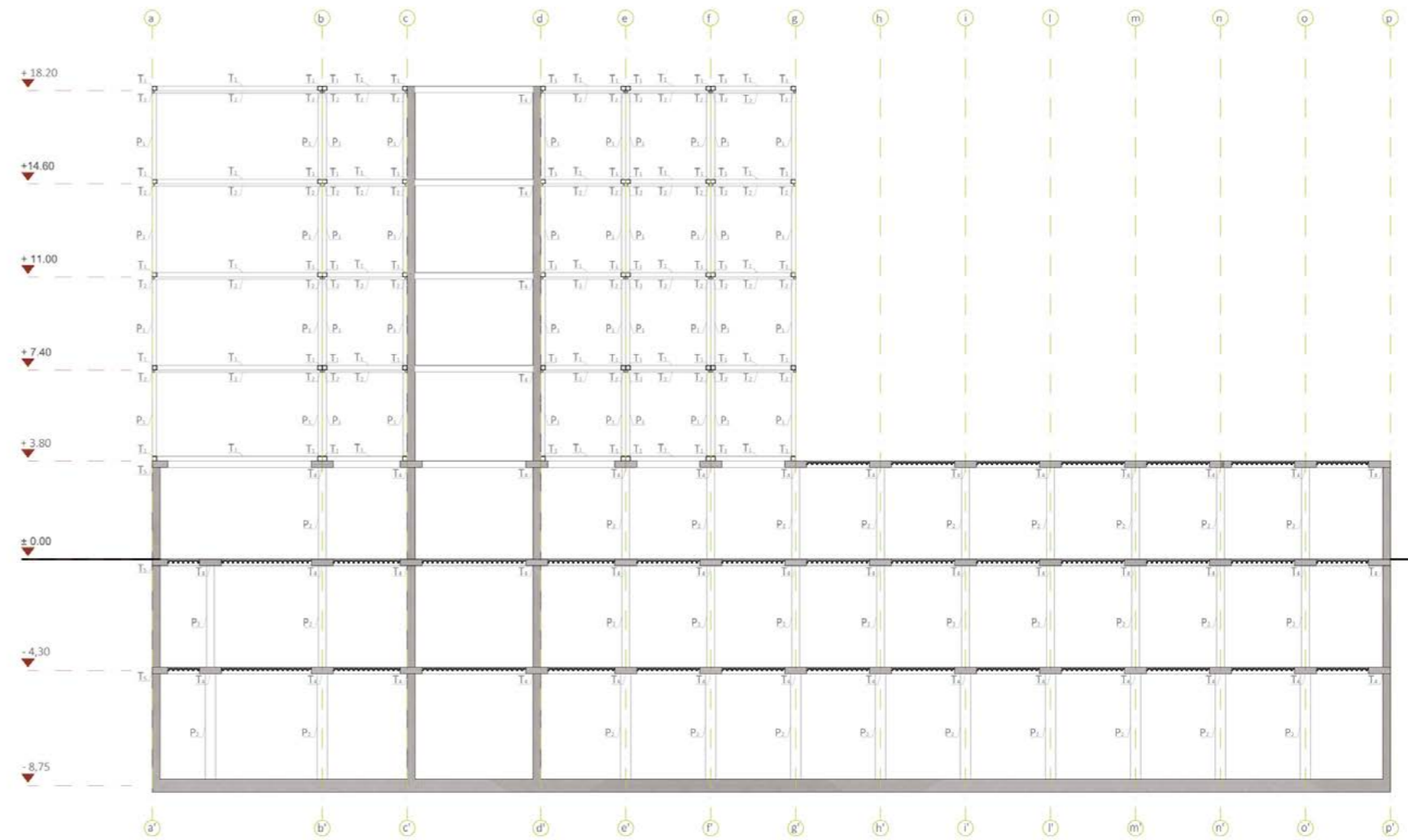


Fig.235 Sezione strutturale.

7.3 ANALISI AGLI STATI LIMITE

In generale, dal § 2.1 delle *Nuove Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/01/2008* le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle norme in vigore.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Lo stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare gli elementi 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, comportare la perdita di beni, provocare gravi danni ambientali e sociali o mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può essere anche reversibile.

La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, viene garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le misure di protezione e manutenzione. I prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali sono stati chiaramente identificati nei paragrafi precedenti in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza.

Le azioni da prendere in conto sono assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle norme. In mancanza di specifiche indicazioni, verrà fatto ricorso, come prevede la normativa, ad opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a normative di comprovata validità.

7.3.1 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Su di una struttura possono agire delle azioni, ossia delle cause o insieme di cause, capaci di indurre stati limiti nella struttura stessa. Il *T.U.* classifica le suddette azioni secondo:

IL MODO ATTRAVERSO IL QUALE QUESTE SI ESPLICANO

- dirette: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- indirette: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro,

precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.

- degrado: endogeno (alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale) o esogeno (alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni).

LA RISPOSTA STRUTTURALE

- statiche: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- pseudo statiche: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- dinamiche: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

LA VARIAZIONE DELLA LORO INTENSITÀ NEL TEMPO

Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1); peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- pretensione e precompressione (P);
- ritiro e viscosità;

- spostamenti differenziali;

Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

Eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti.

Sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

7.4 ANALISI DEI CARICHI

Di seguito verranno definiti i carichi agenti sull'edificio suddividendoli in base alle categorie nominate nel paragrafo precedente e coerenti alle *Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/01/2008*.

7.4.1 CARICHI PERMANENTI (G)

Nel presente paragrafo si tratterà unicamente dei carichi dovuti agli elementi non strutturali, poiché il peso proprio della struttura (G_1) è frutto del dimensionamento fatto in funzione dei carichi esercitati sulla stessa ed è il risultato di un processo di iterazione tra le verifiche e il predimensionamento delle parti strutturali che verranno definite nei capitoli successivi.

7.4.1.1 NON STRUTTURALI (G_2)

Seguendo quanto indicato dal *D.M.14/1/2008 § 3.1.3*: i carichi permanenti non strutturali sono determinati dai pacchetti tecnologici presenti nella costruzione. Nella norma è inoltre specificato che, in presenza di orizzontamenti capaci di ripartire i carichi trasversalmente, come nel caso in esame, è possibile assumere gli stessi come uniformemente distribuiti.

Di seguito si riportano i calcoli svolti per definire tali carichi. Sia nel caso degli elementi verticali che orizzontali, essi sono ricavati escludendo la parte struttu-

rale e sommando il peso dei singoli strati, ottenuto moltiplicando la densità per il rispettivo spessore, o deducendo il peso al m^2 direttamente dalla scheda tecnica dei produttori.

In particolare, per quanto riguarda le pareti divisorie, la normativa specifica nel § 3.1.3.1 che, trattandosi di un edificio residenziale, e prevedendo misure costruttive atte ad assicurare un'adeguata ripartizione del carico sugli orizzontamenti, il peso di tali elementi può essere ragguagliato ad un carico distribuito equivalente secondo le seguenti categorie:

- per elementi divisorii con $G_2 \leq 1,00$ kN/m, $g_2 = 0,40$ kN/ m^2 ;
- per elementi divisorii con $1,00 < G_2 < 2,00$ kN/m, $g_2 = 0,80$ kN/ m^2 ;
- per elementi divisorii con $2,00 < G_2 < 3,00$ kN/m, $g_2 = 1,20$ kN/ m^2 ;
- per elementi divisorii con $3,00 < G_2 < 4,00$ kN/m, $g_2 = 1,60$ kN/ m^2 ;
- per elementi divisorii con $4,00 < G_2 < 5,00$ kN/m, $g_2 = 2,00$ kN/ m^2 ;
- per elementi divisorii con $1,00 < G_2 < 2,00$ kN/m, $g_2 = 0,80$ kN/ m^2 .

Per ottenere il carico equivalente in KN/m^2 è stato necessario moltiplicare il valore di carico ideale nella medesima unità di misura per l'altezza netta della partizione misurata tra gli elementi strutturali orizzontali.

Partendo dal carico per metro lineare è quindi possibile inserire il singolo pacchetto tecnologico in una di tali categorie.

Si riporta un esempio per ogni tipologia di elemento tecnologico.

CHIUSURE ORIZZONTALI

Tab.102 Peso pacchetto tecnologico.

C.O.01_chiusura container

STRATO	SPESSORE	PESO	PESO
	m	Kg/m ²	KN/m ²
Lamiera grecata in acciaio 20/10	0,15	9,39	0,09
Tyvek	0,003	0,14	0,00
Guaina impermeabilizzante bituminosa	0,0005	0,16	0,00
Compensato marino di pino	0,009	5,50	0,06
Lagno di legno mineralizzata Celenit N	0,05	18,00	0,18
Pannello OSB	0,025	16,25	0,16
Isolante lana di pecora	0,1	2,00	0,02
Barriera al vapore bituminosa	0,004	4,80	0,05
Pannello OSB	0,025	16,25	0,16
Materassino acustico in fibra vegetale	0,002	0,26	0,00
Foglio in lana di vetro pressata	0,003	0,00	0,00
Controsoffitto in lana di legno mineralizzata	0,05	18,00	0,18
TOT		90,75	0,91

PARTIZIONI ORIZZONTALI

Tab.103 Peso pacchetto tecnologico.

P.O.01_solaio tra container

STRATO	SPESSORE	PESO	PESO
	m	Kg/m ²	KN/m ²
Pavimento in resina	0,005	3,5	0,04
Sistema radiante + lastra in gessofibra	0,049	30	0,30
Materassino acustico in fibra vegetale	0,008	1,04	0,01
Pannello OSB	0,025	16,25	0,16
Isolante lana di pecora	0,1	2	0,02
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06
Materassino acustico in fibra vegetale	0,02	2,6	0,03
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06
Controsoffitto in lana di legno mineralizzata	0,05	18	0,18
TOT		84,39	0,84

CHIUSURE VERTICALI

Tab.104 Peso pacchetto tecnologico.

C.V.01_chiusura esterna container

STRATO	SPESSORE	PESO	PESO
	m	Kg/m ²	KN/m ²
Rasatura interna	0,003	0,06	0,00
Lastra cemento fibrorinforzato Indoor	0,0125	15	0,15
Lastra cartongesso con barriera in alluminio	0,0125	10	0,10
Montanti a C 50/100/50	0,1	2,76	0,03
Isolante lana di pecora	0,1	2	0,02
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06
Isolante lana minerale edilsider	0,06	2,1	0,02
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06
Pannello lana di legno mineralizzata	0,05	18	0,18
Pannello lana di legno mineralizzata	0,035	14	0,14
Sistema stoventec con sottostruttura	-	14	0,14
Rasatura esterna	0,005	0,1	0,00
TOT		103,32	1,03

PARTIZIONI VERTICALI

Tab.105 Peso pacchetto tecnologico.

P.V.01_partizione tra container

STRATO	SPESSORE	PESO	PESO	PESO
	m	Kg/m ²	KN/m ²	KN/m
Rasatura interna	0,003	0,06	0,00	0,00
Lastra cemento fibrorinforzato Indoor	0,0125	15	0,15	0,49
Lastra cartongesso	0,0125	9,5	0,10	0,31
Isolante lana minerale Edilsider	0,06	2,1	0,02	0,07
Isolante lana minerale Edilsider	0,055	1,925	0,02	0,06
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06	0,18
Compensato marino di pino	0,009	5,5	0,06	0,18
Isolante lana minerale Edilsider	0,055	1,925	0,02	0,06
Isolante lana minerale Edilsider	0,06	2,1	0,02	0,07
Lastra cartongesso	0,0125	9,5	0,10	0,31
Lastra cemento fibrorinforzato Outdoor	0,0125	15	0,15	0,49
TOT		68,11	0,68	2,21
PESO EQUIVALENTE			KN/m ²	1,2

Si riportano quindi qui di seguito una tabella con i pesi di tutti i pacchetti tecnologici mancanti ricavati come precedentemente descritto:

Tab.106 Peso pacchetti tecnologici.

STRATO	PESO	PESO	PESO EQUIVALENTE
	Kg/m ²	kN/m ²	kN/m ²
C.O.02_copertura container con terrazzo	107,72	1,08	-
C.O.03_copertura verde	90,16	0,90	-
C.O.04_chiusura controterra	40,46	0,40	-
C.O.05_solaio e soffitto serra e cornici	66,11	0,66	-
P.O.02_solaio tra container e spazi pubblici	119,24	1,19	-
P.O.03_solaio tra spazi pubblici	65,29	0,65	-
P.O.04_solaio vano scala	62,79	0,63	-
C.V.02_parete fotovoltaica	145,72	1,46	-
C.V.03_parete verde	91,4	0,91	-
C.V.04_chiusura esterna verso la serra	85,86	0,86	-
C.V.05_chiusura esterna spazi pubblici	103,00	1,03	-
C.V.06_chiusura controterra	50,53	0,51	-
C.V.07_chiusura esterna scale	40,8	0,41	-
C.V.08_chiusura esterna serra	56,50	0,57	-
P.V.02_partizione interna	53,96	0,54	0,8
P.V.03_partizione tra spazi pubblici	58,58	0,59	1,2
P.V.04_partizione tra scale e container	34,615	0,35	0,8
P.V.05_partizione tra scale e spazi pubblici	30,85	0,31	0,8
P.V.06_partizione tra container	68,11	0,68	1,2
P.V.07_partizione impiantistica	68,11	0,68	1,2

7.4.2 CARICHI VARIABILI (Q)

Ci sono diverse tipologie di carichi variabili: quelli dati dalla categoria di edificio e quelli causati dalle azioni atmosferiche.

7.4.2.1 CARICHI D'ESERCIZIO PER CATEGORIA DI EDIFICIO

Dal *D.M.14/1/2008 § 3.1.4* “ I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²],
- carichi verticali concentrati Q_k [kN]
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m].”

I valori nominali e/o caratteristici di q_k , Q_k ed H_k sono identificati nella *Tab. 3.1.11* riportata nella pagina seguente. La norma definisce che “ Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture. ”

I carichi variabili, sono dovuti alla presenza di persone il cui peso sollecita la struttura e dipendono dal grado di affollamento definito dalla normativa in base alla destinazione d'uso dell'edificio.

Nel caso in esame, la destinazione d'uso principale è residenziale (livelli da +1 a +5). Nei livelli 0,-1,-2 si susseguono invece differenti tipologie di attività, da aule studio a spazi commerciali, sportivi o di laboratorio. Da considerare è inoltre la presenza di coperture praticabili del tutto o solo per manutenzione.

Cat.	Ambienti	q _k [kN/m ²]	Q _k [kN]	H _k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 —	1,20 —	1,00 —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati ** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

Fig.236 Tabella 3.1.11-Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici.

I carichi che si ritrovano all'interno della struttura, riferendosi alla tabella appena riportata sono:

Tab.107 Carichi d'esercizio in funzione alla destinazione d'uso dei locali.

PIANO	DESTINAZIONE D'USO	CATEGORIA	q _k kN/m ²	Q _k kN	H _k kN/m
	palestra	C3	5	5	3
	infermeria	A	2	2	1
-2	sala riunioni	B1	2	2	1
	amministrazione	B1	2	2	1
	cantine	A	2	2	1
	laboratori	E1	6	6	1
	sala giochi	C3	5	5	3
-1	caffetteria	C1	3	2	1
	banca del libro	D2	5	5	2
	supermarket	D1	4	4	2
	banca del tempo	D1	4	4	2
	aule studio	C1	3	2	1
0	deposito bici	E1	6	6	1
	casa custode	A	2	2	1
	garage	F	2,5	20	1
	corte	C2	4	4	2
	residenze	A	2	2	1
+1	copertura verde	C2	4	4	2
	ballatoio	C2	4	4	2
+2	residenze	A	2	2	1
	ballatoio	C2	4	4	2

	terrazzo	C2	4	4	2
+3	residenze	A	2	2	1
	ballatoio	C2	4	4	2
	residenze	A	2	2	1
	lavanderia	A	2	2	1
+4	cucina	A	2	2	1
	sala relax	C3	5	5	3
	ballatoio	C2	4	4	2
+5	Copertura non praticabile	H1	0,5	1,2	1

Per il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali di ogni livello, verranno utilizzati i valori di carico maggiori all'interno del singolo piano in esame, considerando quindi la condizione più sfavorevole.

Per quanto riguarda i livelli delle residenze (da +1 a +4), si considereranno per tutti i container i carichi dati dalla funzione abitativa e dalle zone soggette ad affollamento, quali i ballatoi. Solo nel caso dei container che ospiteranno cucina e sala relax, essendo comunque diversi a livello di distribuzione interna, verrà utilizzato, sempre in associazione con quello del ballatoio, il carico apposito (categoria C3), poiché risulta più sfavorevole rispetto agli altri.

7.4.2.2 AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è considerata orizzontale per convenzione, ed esercita sull'edificio un'azione variabile, sia nel tempo che nello spazio, inducendo nella realtà effetti dinamici; le *Norme Tecniche di Costruzione, D.M. 14/1/2008, § 3.3.3* la de-

finiscono, invece, come un'azione statica equivalente, ovvero a una pressione o a una depressione ortogonale alle superfici, sia esterne che interne, dell'edificio. Viene inoltre stimata l'azione tangenziale del vento, agente sugli elementi dell'edificio paralleli alla direzione del vento.

Data la forma dell'edificio, si definiscono le due direzioni lungo cui viene stimata l'azione del vento, ovvero quelle riportate nella figura di seguito:

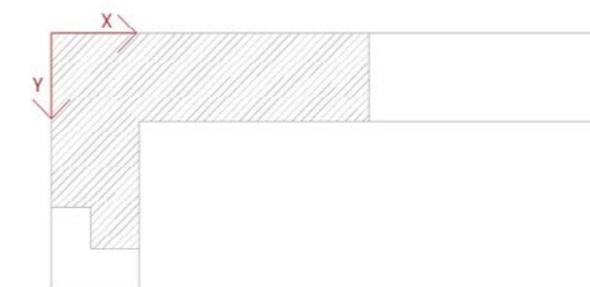


Fig.237 Assi di riferimento per il calcolo dell'azione del vento.

PRESSIONE DEL VENTO

Nella *NTC, § 3.3.4*, la pressione del vento è definita come: $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$.

Dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_p è il coefficiente di forma (o aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

c_d è il coefficiente dinamico.

Per calcolare la pressione è necessario quindi definire tutte queste quantità.

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO q_b

Secondo la *NTC*, § 3.3.6, la pressione cinetica di riferimento q_b [N/m²] è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

Dove:

v_b è la velocità di riferimento del vento [m/s], associata a un periodo di ritorno di 50 anni;

ρ è la densità dell'aria, assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II [Rif. *Tab. 3.3.II*], mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni [*Rif. NTC, § 3.3.2*].

Secondo la normativa, in mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, si ha:

- per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0}$
- per $a_0 < a_s \leq 1500$ m, $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$

Dove:

a_0 , $v_{b,0}$ e k_a sono parametri forniti nella *Tab. 3.3.I* e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in questo caso Milano, Lombardia;

a_s è l'altitudine sul livello del mare dell'area di progetto.

Si riporta la tabella 3.3.I sopra citata:

1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Fig.238 Tabella 3.3.I-Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a .

Si ha quindi:

Tab.108 Parametri di calcolo in relazione al luogo di collocazione della costruzione.

a_s (altitudine massima del sito di progetto)	147 m ($a_s \leq a_0$)
a_0	1000 m
$v_b = v_{b,0}$	25 m/s
k_a	0,010 l/s

Poiché $a_s \leq a_0$, la velocità di riferimento del vento v_b risulta uguale a $v_{b,0}$.

Si ottiene quindi:

$$q_b = 390,63 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0,3963 \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE c_e

Secondo la *NTC*, § 3.3.7, il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z

sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200$ m (nel caso in esame 147 m), esso è dato dalla formula:

$$\cdot \text{ per } z \geq z_{min} \quad c_e(z) = k_r \cdot 2 \cdot c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)];$$

$$\cdot \text{ per } z < z_{min} \quad c_e(z) = c_e(z_{min})$$

k_r , z_0 , z_{min} sono definiti in *Tab. 3.3.II* in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

L'edificio è collocato nel centro di Milano e quindi in un'area fortemente urbanizzata, ed è circondato da costruzione di circa 5 piani d'altezza. Essi esercitano un'azione schermante nei confronti dell'azione del vento. In base a ciò, viene scelta dalla *Tab. 3.3.III*, una classe di rugosità del terreno A.

Poiché, inoltre, l'edificio si trova a una distanza dal mare superiore ai 30 km e ad un'altitudine inferiore ai 500 m.s.l.m, esso si colloca nella categoria di esposizione del sito V [Rif. *Tab. 3.3.II*].

Per quanto riguarda il coefficiente di topografia c_t , esso è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

Si considera, inoltre, che l'edificio ha una quota massima di 19,2 m quindi che il C_e varia con l'altezza per quote maggiori di z_{min} , ovvero 12 m in questo caso.

Il grafico della pagina accanto definisce l'andamento del coefficiente di esposizione al variare dell'altezza di riferimento dell'edificio, per c_t pari a 1.

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni.....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi.....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

ZONE 1,2,3,4,5	2 km	10 km	30 km	500m	750m
A	--	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV
C	--	*	III	III	IV
D	I	II	II	III	**

* Categoria II in zona 1,2,3,4
 Categoria III in zona 5
 ** Categoria III in zona 2,3,4,5
 Categoria IV in zona 1

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

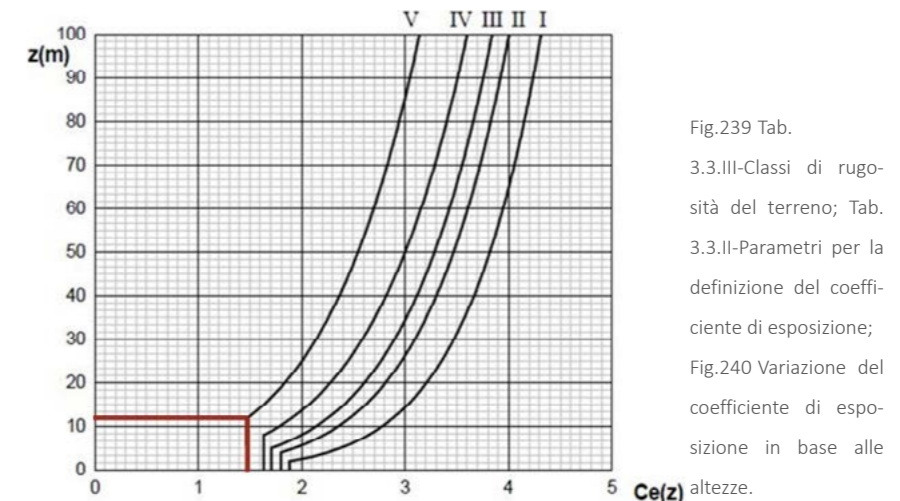


Fig.239 Tab.

3.3.III-Classi di rugosità del terreno; Tab.

3.3.II-Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione;

Fig.240 Variazione del coefficiente di esposizione in base alle altezze.

Poiché il coefficiente di esposizione varia con l'altezza, ed avendo punti dell'edificio con $z \geq z_{\min}$, con $z_{\min} = 12\text{m}$, si divide:

- per $z \geq z_{\min}$;
- $z < z_{\min}$, per cui, dal grafico sopra riportato, si ricava: $c_e(z) = c_e(z_{\min}) = c_e(12\text{m}) = 1,5$

Si ottiene quindi:

Tab.109 Coefficiente di esposizione C_e .

	z	C_e	
	m		
Solaio controterra	0	1,5	$z < z_{\min}$
Solaio livello +1	4	1,5	
Solaio livello +2	7,73	1,5	
Solaio livello +3	11,24	1,5	
Solaio livello +4	14,75	1,62	$z > z_{\min}$
Copertura	18,2	1,77	

COEFFICIENTE DINAMICO C_d

La normativa NTC, § 3.3.8 dice "Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare."

Data la regolarità della forma dell'edificio in esame, con pianta ad "L", ed il limitato sviluppo in altezza, 5 piani, si assume $c_d = 1$.

COEFFICIENTE DI FORMA O AREODINAMICO C_p

Per il calcolo del coefficiente di forma, si fa riferimento alla Circolare esplicativa del 2 febbraio 2009, § C.3.3.10 legata al D.M.14/1/2008.

Poiché l'edificio in esame ha la copertura piana, per il calcolo del coefficiente di forma si fa riferimento alle prescrizioni §C.3.3.10.1 che affermano: "per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente) $c_{pe} = -0,4$ ". Si considera la Figura C.3.3.2 riportata di seguito:

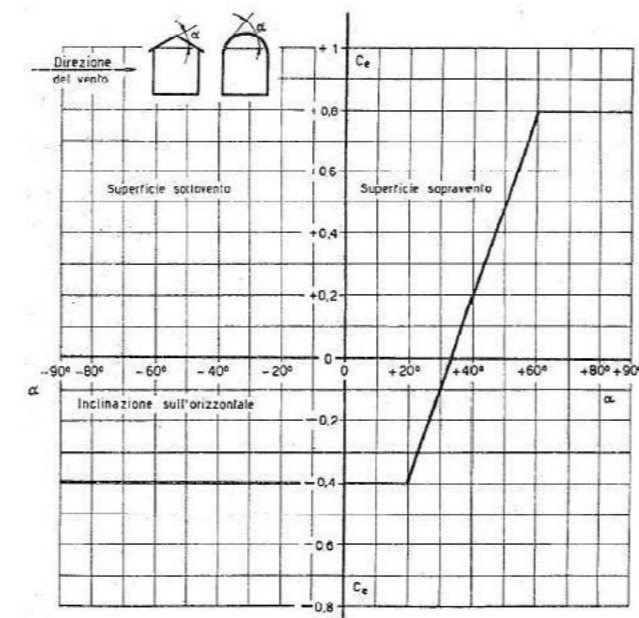


Fig.241 Figura 3.3.2-Valori assunti da c_{pe} al variare di α .

Si ha quindi:

Tab.110 Coefficiente di forma relativo alla pressione esterna C_{pe} .

PARETE_α=90°		
X	Sopravento	$c_{pe} = 0,8$
Y	Sopravento	$c_{pe} = 0,8$
X	Sottovento	$c_{pe} = -0,4$
Y	Sottovento	$c_{pe} = -0,4$
COPERTURA_α=0°		
		$c_{pe} = -0,4$

Per quanto riguarda il coefficiente di forma relativo alla pressione interna c_{pi} , si fa riferimento a un edificio con aperture di superficie > 1/3 di quella totale su entrambi i lati normali alla direzione del vento. Si ottengono quindi i valori:

Tab.111 Coefficiente di forma relativo alla pressione interna C_{pi} .

PARETE_α=90°		COPERTURA_α=0°
$c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$	$c_{pi} = +0,4$	$c_{pi} = \pm 0,2$
$c_{pi} = -2$	(per parete sopravento)	
$c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$	$c_{pi} = -0,8$	
$c_{pi} = +1,6$	(per parete sottovento)	

Nel calcolo finale vengono quindi utilizzati:

Tab.112 Coefficiente di forma per le pareti verticali C_p .

PARETE_α=90°		
X	Sopravento	$c_p = +1,2$
Y	Sopravento	$c_p = +1,2$

X	Sottovento	$c_p = -1,2$
Y	Sottovento	$c_p = -1,2$
COPERTURA_α=0°		$c_p = -0,6$

Per quanto riguarda la copertura, si ottiene c_p sommando c_{pe} e c_{pi} . I due casi ottenuti sono quindi:

Tab.113 Coefficiente di forma per le pareti verticali C_p .

$c_{pe} + c_{pi}$	C_p
-0,4 + 0,2	-0,2
-0,4 + (-0,2)	-0,6

Si sceglie quindi il valore che identifica il caso più gravoso, ossia è $c_p = -0,6$

PRESSIONE DEL VENTO P

Considerando la formula: $p = p_{esterna} = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

Si ottengono i seguenti valori di pressione rispetto alle diverse direzioni di vento, calcolate in base al punto di applicazione della pressione:

Tab.114 Pressione del vento sui vari solai e sulla copertura.

DIREZIONE	p	DIREZIONE	p
X	N/m ²	Y	N/m ²
Solaio controterra	703,13	Solaio controterra	703,13
Solaio livello +1	703,13	Solaio livello +1	703,13
Solaio livello +2	703,13	Solaio livello +2	703,13
Solaio livello +3	703,13	Solaio livello +3	703,13
Solaio livello +4	759,41	Solaio livello +4	759,41
Copertura	-414,38	Copertura	-414,38

AZIONE TANGENZIALE DEL VENTO

L'azione tangenziale è l'azione di trascinamento sulle facciate parallele al vento.

Secondo la *NTC*, § 3.3.5 L'azione tangente per unità di superficie, parallela alla direzione del vento, è data dall'espressione: $p_f = q_b c_e c_f$ dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Superficie	Coefficiente d'attrito c_f
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia..)	0.01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame..)	0.02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata..)	0.04

Fig.242 Tab. C.3.3.I-Valori del coefficiente di attrito.

Per quanto riguarda il coefficiente di attrito c_f , non avendo precise valutazioni suffragate da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento, si assumeranno i valori riportati nella *Tabella C3.3.I.* che si trova nella *Circolare esplicativa del 2 febbraio 2009*, § C.3.3.11.

Avendo un rivestimento in intonaco, nel caso in esame si utilizza $c_f=0,01$

Si ottengono quindi i valori di azione tangenziale:

Tab.115 Pressione tangenziale del vento sui vari solai e sulla copertura.

DIREZIONE	p_f	DIREZIONE	p_f
X	N/m ²	Y	N/m ²
Solaio controterra	5,86	Solaio controterra	5,86
Solaio livello +1	5,86	Solaio livello +1	5,86
Solaio livello +2	5,86	Solaio livello +2	5,86
Solaio livello +3	5,86	Solaio livello +3	5,86
Solaio livello +4	6,33	Solaio livello +4	6,33
Copertura	6,91	Copertura	6,91

AZIONE TOTALE DEL VENTO

Si ha quindi un'azione totale del vento pari alla somma vettoriale delle singole componenti tali che: $p_{tot} = p + p_f$

Tab.116 Pressione totale del vento sui vari solai e sulla copertura.

DIREZIONE	p_{tot}	DIREZIONE	p_{tot}
X	N/m ²	Y	N/m ²
Solaio controterra	708,98	Solaio controterra	708,98
Solaio livello +1	708,98	Solaio livello +1	708,98
Solaio livello +2	708,98	Solaio livello +2	708,98
Solaio livello +3	708,98	Solaio livello +3	708,98
Solaio livello +4	765,74	Solaio livello +4	765,74
Copertura	-407,47	Copertura	-407,47

La pressione del vento in copertura risulta negativa poiché su di essa agisce un'azione di depressione e di sollevamento verso l'alto.

Infine, la forza esercitata dal vento sui vari piani dell'edificio è prodotto delle superfici dell'edificio per la pressione del vento appena calcolata contro le superfici stesse che compongono l'involucro edilizio: $F_w = A * p$.

Pertanto la forza esercitata dal vento sull'edificio sarà la sommatoria dei prodotti delle diverse superfici di chiusura dell'edificio (S_i), per la pressione che il vento esercita su ognuna di esse (p_i):

$$F_{wtot} = (p_1 * S_1 + p_2 * S_2 + \dots + p_n * S_n) * 2 + (p_{f1} * S_1 + p_{f2} * S_2 + \dots + p_{fn} * S_n) * 2$$

Per valutare l'azione globale più sfavorevole è necessario infine considerare le diverse possibili direzioni del vento, definendo così il valore massimo di forza totale

dello stesso.

Le diverse combinazioni trovate sono le seguenti:

Tab.117 Azione totale del vento sui vari solai e sulla copertura.

DIREZIONE	COMBINAZIONE	F_{wtot}	
		N	kN
X	Diretta verso parete Nord	446855,13	446,86
	Diretta verso parete Sud	452197,42	452,20
Y	Diretta verso parete Est	448990,41	448,99
	Diretta verso parete Ovest	453677,42	453,68

In conclusione l'azione del vento più sfavorevole risulta quella diretta contro la parete Ovest dell'edificio con un valore di $F_{wtot} = 453,68$ kN.

7.4.2.3 AZIONE DELLA NEVE

Dalla *NTC*, § 3.4.1 l'azione di carico causata dalla neve sulle coperture è valutata mediante la seguente espressione: $q_s = \mu_1 \times q_{sk} \times C_E \times C_t$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_1 è il coefficiente di forma della copertura;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²];

C_E è il coefficiente di esposizione;

C_t è il coefficiente termico.

Il carico ipotizzato dalla normativa agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

CARICO DI NEVE AL SUOLO q_{sk}

Dalla *NTC § 3.4.2*, il carico di neve al suolo dipende dalla localizzazione dell'edificio e quindi dal clima e dal grado di esposizione. Per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, esso viene definito in base alle zone di carico di neve nella *Fig 3.4.1* della *NTC*, rispetto a cui vengono indicate le espressioni attraverso cui calcolarlo.

Milano si colloca nella ZONA I-MEDITERRANEA, per cui:

- per $a_s < 200$ m $q_{sk} = 1,5$ kN/m²
- per $a_s > 200$ m $q_{sk} = 1,35 * [1 + (a/602)2]$

Con a_s quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

Poiché nel nostro caso $a_s = 147$ m, allora $q_{sk} = 1,5$ kN/m².

Coefficiente di forma della copertura μ_1

Per definire il coefficiente di forma, ci si riferisce alla *NTC § 3.4.5.1*.

Poiché, nel caso in oggetto la copertura è piana ($0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$), $\mu_1 = 0,8$ (*Tab. 3.4.II*).

Poiché inoltre è presente un parapetto che impedisce lo scivolamento della neve sia nel caso di presenza che assenza di vento, si assume $\mu_1 = 0,8$ indipendentemente dall'inclinazione della copertura.

In conclusione, il coefficiente di forma della copertura piana $\alpha = 0^\circ$ $\mu_1 = 0,8$.

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE C_E

Il coefficiente di esposizione, secondo la *NTC § 3.4.3*, corregge il valore del carico di neve in base alla topografia del luogo dove sorge l'opera.

Riferendosi alla *Tab.3.4.I*.sotto riportata, $C_E = 1$ (classe di topografia NORMALE), poiché essendo in una zona densamente edificata, il vento non esercita una significativa azione di rimozione della neve dalla copertura.

COEFFICIENTE TERMICO C_t

La *NTC § 3.4.4* spiega che il coefficiente termico permette di tenere conto della riduzione del carico di neve a causa dello scioglimento della stessa a causa della perdita di calore da parte della costruzione e dipende dal grado di isolamento termico della copertura. Poiché non esistono studi specifici riguardo l'edificio in esame, si assume $C_t = 1$.

CARICO NEVE SULLA COPERTURA

Nel caso in esame è considerato un unico caso sia per la presenza che per l'assenza di vento, data la presenza di un parapetto, come spiegato precedentemente.

Dalla espressione tratta da *§ 3.4.5* si ottiene quindi l'azione della neve sulla copertura dell'edificio in oggetto: $q_s = \mu_1 \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 1,2$ kN/m².

7.5 COMBINAZIONI DEI CARICHI

7.5.1 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Poiché le azioni sopra elencate non agiscono tutte contemporaneamente, è necessario valutare tale asserzione mediante il ricorso a differenti combinazioni.

Si definisce valore caratteristico Q_k di un'azione variabile il valore corrispondente ad un frattile pari al 95 % della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile stessa.

La normativa vigente definisce quindi differenti combinazioni delle azioni che possono agire contemporaneamente su di un dato elemento strutturale. All'interno della combinazione, i Q_{kj} rappresentano le azioni variabili in questione, con Q_{k1} azione variabile dominante e Q_{k2}, Q_{k3}, \dots azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili Q_{kj} vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_{0j}, ψ_{1j} e ψ_{2j} , i cui valori sono forniti dal *T.U. al § 2.5.3, Tab. 2.5.I*, per edifici civili e industriali correnti. Con riferimento alla durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente $\psi_{2j} * Q_{kj}$: la media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente $\psi_{1j} * Q_{kj}$: il valore corrispondente al frattile 95 % della distribuzione temporale dell'intensità e cioè che è superato per una limitata frazione del periodo di riferimento;
- valore raro (o di combinazione) $\psi_{0j} * Q_{kj}$: il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, il vigente *T.U.* prevede cinque differenti combinazioni, in relazione allo stato limite che si vuole verificare. Valutando gli effetti di ogni combinazione e, quindi, stimate le più gravose condizioni di carico, è possibile procedere con la verifica agli stati limite della struttura in oggetto.

COMBINAZIONE FONDAMENTALE, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU): $\gamma_{g1} G_1 + \gamma_{g2} G_2 + \gamma_p P + \gamma_{q1} Q_{1k} + \gamma_{q2} \psi_{02} Q_{2k} + \gamma_{q3} \psi_{03} Q_{3k} + \dots$ (2.5.1)

COMBINAZIONE CARATTERISTICA (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al *§ 2.7*: $G_1 + G_2 + P + Q_{1k} + \psi_{02} Q_{2k} + \psi_{03} Q_{3k} + \dots$ (2.5.2)

COMBINAZIONE FREQUENTE, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili: $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \psi_{23} Q_{3k} + \dots$ (2.5.3)

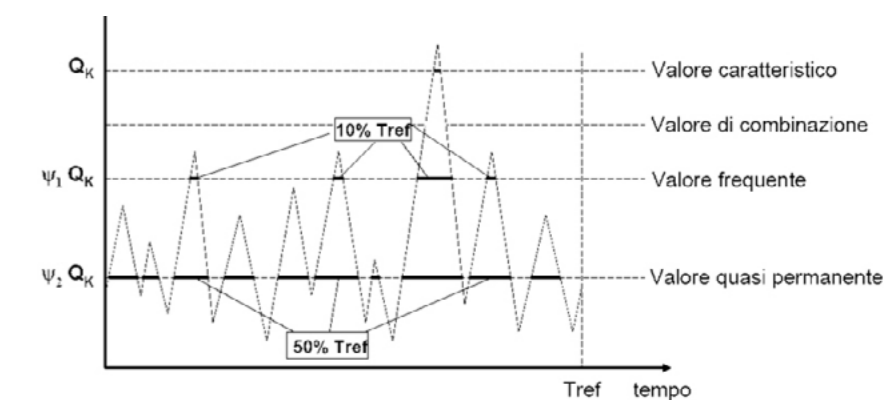


Fig.243 Parametri per le combinazioni di carico.

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine: $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \psi_{23} Q_{3k} + \dots$ (2.5.4)

COMBINAZIONE SISMICA, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E [Rif. § 3.2]: $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \dots$ (2.5.5)

COMBINAZIONE ECCEZIONALE, per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d [Rif. § 3.6]: $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \dots$ (2.5.6)

All'interno delle quali si riscontrano i seguenti parametri:

G_1 è il peso proprio degli elementi strutturali;

G_2 è il peso proprio degli elementi non strutturali;

P_k si riferisce alla pretensione e precompressione dell'elemento strutturale;

Q_{1k} si riferisce all'azione variabile considerata come principale;

Q_{ik} si riferisce alle altre azioni variabili che insistono sulla struttura e che sono considerate nella combinazione in esame come non principali;

γ_{g1} è il coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi strutturali;

γ_{g2} è il coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_p il coefficiente di amplificazione delle azioni di pretensione e precompressione;

γ_q è il coefficiente di amplificazione di tutte le azioni variabili;

ψ_{0i} è il coefficiente di combinazione delle azioni variabili che sono considerate nella combinazione in esame come non principali.

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi Q_{ki} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 . I valori dei coefficienti di amplificazione sono definiti dal *Testo Unico nella Tabella 2.5.1*, mentre i coefficienti di combinazione sono determinati attraverso la *Tabella 2.6.1*

rispetto alla quale si farà riferimento alla condizione sfavorevole relativa allo stato limite ultimo di resistenza della struttura (STR).

Tab.118 Tabella 2.5.1 , valori dei coefficienti di combinazione, T.U.

Categoria _ Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tab.119 Tabella 2.6.1 , coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU, T.U.

		Coefficiente γ_f	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{g1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{g2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU;
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR;
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO.

NB: L'azione del vento come carico dominante viene assunta favorevole in riferimento alla chiusura orizzontale di copertura.

Come verrà mostrato in seguito, le combinazioni lineari vengono utilizzate per dimensionare gli elementi strutturali. Si prenda ad esempio una trave. S_e l'area della sua sezione è ridotta, essa sarà sollecitata dalle sole forze verticali, mentre le forze orizzontali (tipicamente sisma e vento) vengono trascurate.

Tra le forze verticali agenti compaiono l'affollamento, il carico da neve e il peso proprio della struttura.

Mentre il peso proprio della struttura non può che essere preso in qualsiasi ipo-

tesi al 100%, il carico da neve e quello da affollamento verranno ridotti ad un valore minore o uguale al 100% del valore originale, in base alla modalità con cui saranno tra loro combinati.

Se si esegue ad esempio una verifica agli SLE tramite combinazione caratteristica, nel momento in cui viene considerato prevalente l'affollamento, lo stesso viene applicato sulla trave al 100% del suo valore, mentre il carico da neve al 50% [Rif. *T.U. Tab. 2.5.1*]. Se al contrario fosse prevalente il carico da neve, questo sarà valutato al 100%, mentre l'affollamento al 70% del suo valore originale.

Per determinare la condizione più critica per la struttura è necessario risolvere lo schema statico, sommando i contributi. Nel caso della trave in semplice appoggio è possibile semplicemente sommare le forze (opportunamente ridotte) e verificare in quale dei due casi il carico verticale risulta maggiore.

Per dimensionare un pilastro di un'unità di controvento, invece, non è sufficiente considerare le sole forze verticali, ma si prendono in considerazione anche quelle orizzontali, che apportano un contributo di trazione o compressione sul pilastro legato alla presenza delle aste oblique di controvento.

7.5.1.1 PROCEDURA DI CALCOLO

In riferimento alle verifiche agli stati limite da condurre, per il caso in esame si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carichi:

COMBINAZIONE FONDAMENTALE, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU): $\gamma_{g1} G_1 + \gamma_{g2} G_2 + \gamma_p P + \gamma_{q1} Q_{1k} + \gamma_{q2} \psi_{02} Q_{2k} + \gamma_{q3} Q_{3k} + \dots$ (2.5.1)

COMBINAZIONE CARATTERISTICA (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7: $G_1 + G_2 + P + Q_{1k} + \psi_{02} Q_{2k} + \psi_{03} Q_{3k} + \dots$ (2.5.2)

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine: $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{1k} + \psi_{22} Q_{2k} + \psi_{23} Q_{3k} + \dots$ (2.5.4)

Si riporta come esempio esplicativo l'analisi effettuata sulla chiusura orizzontale di copertura indicata come Livello +5 .

Tab.120 Carichi gravanti sulla chiusura orizzontale del livello +5.

G_1	G_2	P	$q_{k,r}$ [variabili]	p [vento]	Q_s [neve]
KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²
0,565	0,91	0,00	0,50	0,00	1,21

I calcoli sono stati sviluppati considerando il peso proprio strutturale della lamiera dei moduli e della lamiera grecata collaborante per tutti gli altri livelli. Invece non è stato considerato il peso proprio strutturale della trave, poiché non ne è ancora stato eseguito il dimensionamento. L'azione del vento è inoltre essere nulla in relazione all'elemento strutturale in esame, sia esso una trave di copertura o di interpiano. Verrà dunque, in primo luogo, presa in considerazione la combinazione che prevede come variabile dominante la neve, e come variabile agente contemporaneamente a quest'ultima l'affollamento, per poi confrontarla con la combinazione alternativa, sia allo stato limite ultimo, che in condizioni di esercizio.

COMBINAZIONE FONDAMENTALE_SLU: è necessario prendere in considerazione i valori dei coefficienti evidenziati nella tabella sottostante:

Tab.121 Combinazione SLU chiusura orizzontale livello +5.

LIVELLO +5	ψ_{0i}	γ_{g1}	γ_{g2}	γ_{gi}	
affollamento	0,7	1,3	1,5	1,5	KN/m ²
neve	0,5	1,3	1,5	1,5	4,42

Si giunge così alla determinazione di un valore pari a 4,42 KN/m². Ponendo invece come carico dominante l'affollamento, si ottiene un valore di 3,74 KN/m².

Assumendo come variabile dominante il carico relativo alla neve, si ha dunque la situazione critica per un elemento strutturale in copertura all'SLU.

Prendendo in considerazione le condizioni di esercizio, si ha:

COMBINAZIONE CARATTERISTICA (rara): $G_1 + G_2 + P + Q_{1k} + \psi_{02} Q_{2k} + \psi_{03} Q_{3k} + \dots$ (2.5.2)

Tab.122 Combinazione SLE chiusura orizzontale livello +5.

LIVELLO +5	ψ_{0i}	
affollamento	0,7	KN/m ²
neve	0,5	3

Ponendo invece come carico dominante l'affollamento, si ottiene un carico complessivo pari a 2,57 kN/m², inferiore al valore associato al carico neve appena calcolato. Trascurando l'azione del vento, e non essendoci carichi da neve, per un elemento strutturale appartenente a un solaio interpiano la combinazione risultano fortemente dipendenti dal valore di carico associato all'affollamento. I carichi variabili relativi all'affollamento adottati nelle combinazioni di calcolo e associati ad ogni livello sono riportati nella tabelle [Rif. Paragrafo 7.4.2].

Si riporta l'analisi effettuata sulla chiusura orizzontale indicata come livello-1 .

Tab.123 Carichi gravanti sulla chiusura orizzontale del livello-1.

G_1	G_2	P	$q_{k,r}$ [variabili]	p [vento]	Q_s [neve]
KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²
2,28	1,85	0,00	5	0,00	0,00

COMBINAZIONE FONDAMENTALE_SLU: è necessario prendere in considerazione i valori dei coefficienti evidenziati nella tabella sottostante:

Tab.124 Combinazione SLU chiusura orizzontale livello-1.

LIVELLO-1	ψ_{0i}	γ_{g1}	γ_{g2}	γ_{gi}	KN/m ²
affollamento E	1	1,3	1,5	1,5	13,24

In questo caso è stato considerato come carico variabile di affollamento critico per il piano quello riferito alla destinazione d'uso laboratori in riferimento alla Tabella. [Rif. Cap]; dunque il Q_k utilizzato risulta essere pari a 6 kN/m².

Tab.125 Carichi variabili per destinazione d'uso livello-1.

DESTINAZIONE D'USO	CATEGORIA	q_k	Q_k	H_k
		KN/m ²	kN	kN/m
laboratori	E1	6	6	1
sala giochi	C3	5	5	3
caffetteria	C1	3	2	1
banca del libro	D2	5	5	2
supermarket	D1	4	4	2

Le combinazioni delle azioni di verifica, per ogni livello dell'edificio, risultano:

Tab.126 Combinazione di carico per i vari livelli.

	SLU [KN/m ²]	SLE [KN/m ²]	SLE [KN/m ²]
	COMBINAZIONE FONDAMENTALE	COMBINAZIONE RARA	COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE
LIV +5	4,424	3,025	1,625
LIV +4	13,394	9,005	6,205
LIV +3	7,154	4,845	3,445
LIV +2	6,899	4,675	3,275
LIV +1	10,314	7,180	5,580
LIV 0	11,739	8,130	6,530
LIV -1	13,239	9,130	7,130

Le combinazioni delle azioni di verifica, valutate per ogni livello relativamente agli elementi a sbalzo della serra, risultano quindi le seguenti:

Tab.127 Combinazione di carico per i vari livelli nel caso del ballatoio esterno.

	SLU [KN/m ²]	SLE [KN/m ²]
	COMBINAZIONE FONDAMENTALE	COMBINAZIONE RARA
LIV +5	4,38	2,92
LIV +4	8,76975	5,8465
LIV +3	8,76975	5,8465
LIV +2	8,76975	5,8465

Tutti i calcoli sono stati sviluppati non considerando il peso proprio della facciata poiché le chiusure esterne gravano solo e direttamente sulle travi di bordo e sui cordoli perimetrali. Tale peso non va dunque ripartito sui solai.

7.6 PREDIMENSIONAMENTO ELEMENTI A SBALZO

Per quanto riguarda i profili orizzontali componenti gli elementi a sbalzo, è stato effettuato un predimensionamento riferito ai limiti imposti dalla *NTC 2008 § 4.0.0.*, basato sulla deformabilità dell'elemento.

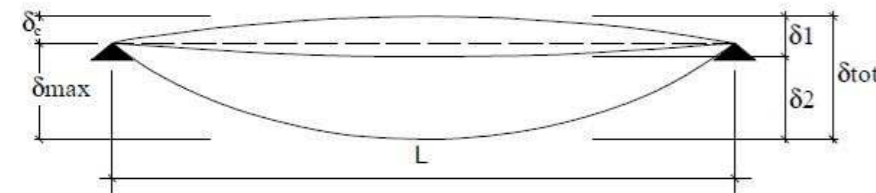


Fig.244 Figura 4.2.1-Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio.

δ_c è la monta iniziale della trave;

δ_1 è lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti;

δ_2 è lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;

δ_{max} è lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$, dovuto all'intera combinazione di carichi;

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2.$$

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di δ_{max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono funzioni della luce L dell'elemento.

I valori limite di defomabilità sono indicati nella tabella seguente, tratta dalla normativa:

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

Fig.245 Tab.4.2.X-Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Si è scelto di considerare i profili delle serre solari, poiché sono quelli più critici, data lo sbalzo maggiore. La prima verifica effettuata si riferisce agli elementi:

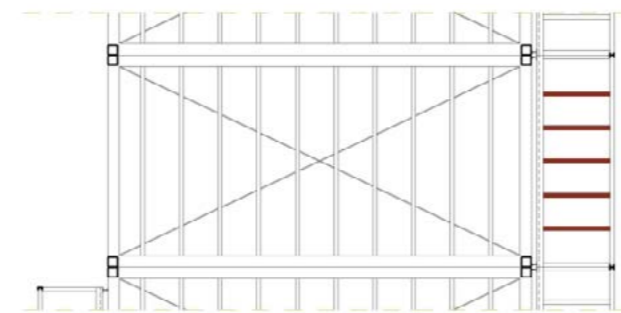


Fig.246 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

Considerando uno schema statico a mensola caricata uniformemente con un carico P, la freccia maggiore è all'estremo libero e vale $f = \frac{P \cdot L^4}{8EI}$. Partendo dal carico P derivante dalla combinazione allo SLE, dai limiti imposti da normativa è possibile ricavare l'inerzia tramite la formula precedente invertita: $I = \frac{P \cdot L^4}{8E f}$.

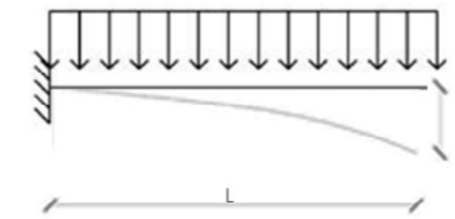


Fig.247 Schema statico a mensola.

Il valore ottenuto è quindi il seguente:

Tab.128 Inerzia di predimensionamento del profilo a sbalzo.

P SLE	L	δ_{max}	E	E	I_y	I_y
kN/m	m	m	N/mm ²	kN/m ²	m ⁴	cm ⁴
3,21	1,2	0,0048	210000	210000000	0,0000008	82,59

Il valore del carico distribuito è stato ottenuto moltiplicando il carico al metro quadrato ricavato dalle combinazioni per l'interasse delle travi.

Tab.129 Carichi gravanti sul profilo SLE.

P SLE	INTERASSE	P SLE
kN/m ²	m	kN/m
5,84	0,55	3,21

Il valore δ_{max} delle freccia scelto è quello imposto nella *NTC 2008 § 4.2.4.2.1. Tab. 4.2.1.X* precedentemente riportata, scegliendo il valore per solai in generale ovvero: $\delta_{max} = \frac{1}{250} L$.

Secondo questo metodo di predimensionamento, l'inerzia che dovrebbe avere la trave risulta approssimata per eccesso; infatti, nel caso dell'edificio in esame, le travi del solaio degli elementi a sbalzo sono collegati alla copertura degli stessi tramite un pilastro saldato ad entrambi gli estremi. Come già accennato nei paragrafi precedenti, esso, insieme alla struttura della copertura della serra, funge da tirante, ed aiuta a sostenere la trave sottostante, diminuendo la freccia che questa avrebbe se fosse una mensola semplice. Data la necessità di avere una struttura leggera, trattandosi di elementi prefabbricati da movimentare e trasportare per intero, si è scelto di portare avanti un calcolo più preciso. Attraverso un processo di iterazioni, utilizzando il programma FTool, che restituisce i valori delle reazioni interne e degli spostamenti, è stato ricavato il profilo con le dimensioni minime che soddisfa i requisiti di deformabilità.

Lo schema statico utilizzato è quello riportato nella pagina seguente.

I valori massimi di freccia da non superare imposti nella *NTC 2008 § 4.2.4.2.1. Tab. 4.2.1.X*, sono:

$$\delta_{max} = \frac{1}{250} L \text{ nel caso di carico applicato globalmente;}$$

$$\delta_2 = \frac{1}{300} L \text{ nel caso della freccia causata dai soli carichi variabili.}$$

I risultati rappresentati nella tabella seguente fanno riferimento ad un profilo a "U" in acciaio di dimensioni 80X60X2,5 mm. [Rif. Figura 229] In realtà, sarebbe stato sufficiente un profilo spesso 80X50X2 mm, ma per motivi di resistenza a strappamento e tranciamento a causa dei bulloni di fissaggio, le dimensioni sono state leggermente incrementate.

Tab.130 Calcolo della freccia dal profilo.

P_{sup}	P_{inf}	P_p	$\delta_{max inf}$	$\delta_{max sup}$	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	kN/m	mm	mm	mm	mm
1,28	3,25	0,04	3,01	2,99	1200	4,8

Q_{sup}	Q_{inf}	P_p	$\delta_{2 inf}$	$\delta_{2 sup}$	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	kN/m	mm	mm	mm	mm
0,85	2,2	0	2,01	2,01	1200	4

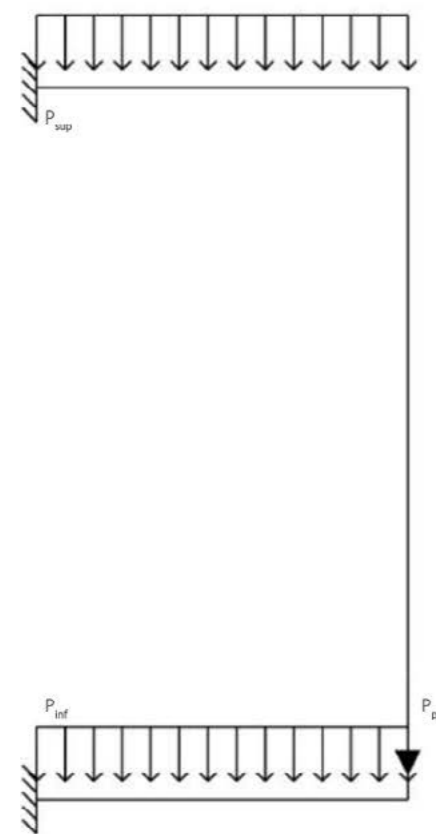


Fig.248 Schema statico considerato.

Si riportano la deformata della trave sotto lo schema statico precedentemente descritto:

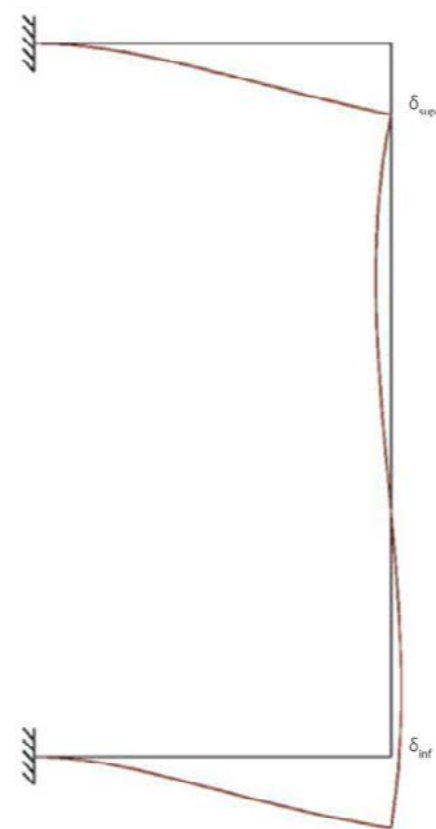


Fig.249 Freccie dovute ai carichi.

Relativamente al pilastro è stata effettuata una verifica sulla resistenza della sezione partendo da un profilo minimo reso necessario per motivi di costruibilità. Si tratta di un profilo ad “ U ” di dimensioni 60x30x3 mm e altezza 3 metri del quale vengono riportate in seguito le proprietà geometriche e della sezione:

Tab.131 Proprietà geometriche della sezione.

I_y	A	i_y	i_z	$W_{el,y}$
mm ⁴	mm ²	mm	mm	mm ³
166800	334,27	22,34	9,20	5560

Poiché in tal sede verrà condotta la verifica di un profilo scelto a priori e non un vero e proprio dimensionamento, è stato adottato come parametro il modulo resistente elastico a flessione $W_{el,y}$.

Di seguito si indica con f_{yk} il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento, riportata nella *Tabella 11.3.IX del §11.3.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/I/2008*, e γ_{M0} il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature a stabilità reperibile nella *Tabella 4.2.V del § 4.2.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/I/2008* per le sezioni di classe 1-2.

In base alla seguente formula il valore di f_{vd} , tensione di snervamento di progetto,

$$f_{vd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \text{ è pari a } 261,905 \text{ N/mm}^2$$

Tab.132 Valore della tensione di snervamento.

f_{yk}	γ_{M0}	f_{vd}
N/mm ²		N/mm ²
275	1,05	261,9

Lo schema statico utilizzato è il medesimo assunto precedentemente. I carichi applicati sono quelli derivanti dalla combinazione fondamentale all’ SLU relativa agli elementi a sbalzo valutati in kN/m². Tale valore è stato riportato sullo schema statico in kN/m moltiplicandolo per metà della larghezza del modulo prefabbricato, adottando dunque un’area di influenza, per ogni pilastro, pari alla metà della soletta dell’elemento a sbalzo.

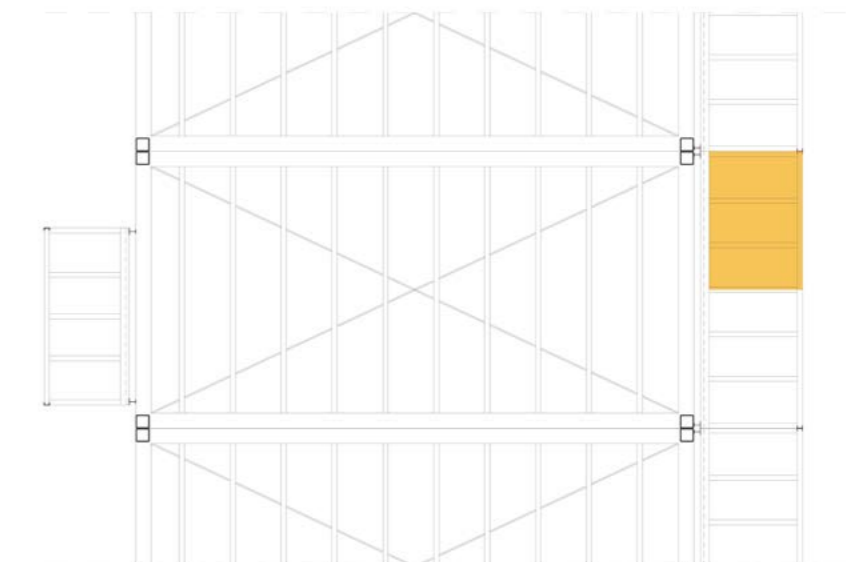


Fig.250 Area di influenza del pilastro della serra.

Allo scopo di definire il criterio più appropriato con cui verificare la sezione è stata condotta la classificazione facendo riferimento alla *Tabella 4.2.II* presente §4 nella normativa.

In questo caso, dato che $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon = 0,92$. Il coefficiente di imperfezione a viene valutato in base alla *Tabella 4.2.VI*, contenuta nel § 4.2.4.1.3.

Classe	Piattabande esterne soggette a compressione		Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione			
	Con estremità in compressione	Con estremità in trazione	Con estremità in compressione	Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione negativa)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 2k\sqrt{k_0}$ Per k_0 vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	α	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Fig.251 Tabella 4.2.II-Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse.

Riconducendo la sezione ad un profilo a "C" con un'inflexione attorno ad un asse qualunque per ogni tipologia di acciaio, la curva di instabilità risulta essere la C con $\alpha=0,49$. Considerando il caso delle piattabande esterne soggette a compressione, la sezione è in classe 2 in base alla seguente formula: $\frac{c}{t} < \frac{(36E)}{\alpha}$

Tab.133 Definizione della classe del profilo.

c	t	c/t	ϵ	α	CLASSE2
mm	mm				
27	3	9	0,92	0,49	9,2

Sezione trasversale	Limiti	Inflexione interna all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S160	
	$h/b > 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40$ mm	a	a ₁
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	b	a
			$t_f \leq 100$ mm	b	a
			$t_f > 100$ mm	d	c
	$h/b \leq 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40$ mm	b	b
			$t_f > 40$ mm	c	c
	Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a ₁	
			Sezione formata "a freddo"	c	c
	In generale	qualunque	b	b	
			saldature "spesse": $a \leq 0,5t_f$ $b/b_0 \leq 30$; $h/t_w \leq 30$	c	c
	qualunque	qualunque	c	c	
	qualunque	qualunque	b	b	
Curva di instabilità	a ₁	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Fig.252 Tabella 4.2.VI-Curve di instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

Lo schema statico utilizzato è il medesimo assunto precedentemente. I carichi applicati sono quelli derivanti dalla combinazione fondamentale all' SLU relativa agli elementi a sbalzo valutati in kN/m². Tale valore è stato riportato sullo schema statico in kN/m moltiplicandolo per metà della larghezza del modulo prefabbricato, adottando dunque un'area di influenza, per ogni pilastro, pari alla metà della soletta dell'elemento a sbalzo; sommando infine il peso proprio del pilastro.



Fig.253 Schema statico considerato.

Risoluzione schema statico:

Tab.134 Azioni interne.

N	M _y	T [kN]
kN	kNm	kN
2	0,2	0,2

Per considerare l'interazione tra momento e azione assiale si è verificata l'estre-

mità che presenta momento massimo, poiché l'azione assiale risulta costante.

In riferimento al §5.4.9.(1),(2),(3) dell'EC3 quando l'azione tagliante supera metà della resistenza a taglio plastica, nella determinazione del momento resistente plastico ridotto deve essere tenuto in debito conto l'effetto sia dell'azione tagliante che della forza assiale.

Purché il valore di progetto della forza di taglio V_{ed} non superi il 50% della resistenza a taglio plastica di progetto $V_{pl,Rd}$ non è necessaria alcuna riduzione nelle combinazioni di momento forza assiale.

In base alla formula (4.2.18) contenuta nel §4.2.4.1.2 delle NTC2008 è stato calcolata la resistenza a taglio plastica di progetto: $V_{pl,Rd} = \frac{(f_{yk} * A_V)}{[3^{(1/\alpha)} * V_{M0}]}$

Dove A_V è l'area resistente a taglio calcolata riconducendo la sezione ad un profilo a "U" 60X30X3mm. In riferimento alla (4.2.23) del §4.2.4.1.22 delle NTC2008 per profili a "C" o ad "U" caricati nel piano dell'anima: $A_V = A - 2t_b * t_f + (t_w + r) * t_f$.

Dove:

A è l'area lorda della sezione del profilo;

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;

h_w è l'altezza dell'anima;

h è l'altezza delle sezioni cave;

r è il raggio di raccordo tra anima ed ala;

t_f è lo spessore delle ali;

t_w è lo spessore dell'anima.

Nel caso in esame risulta:

Tab.135 Area resistente a taglio.

A_v	A	b	t_f	t_w	r
mm ²	mm ²	mm	mm	mm	mm
178,27	334,27	30	3	3	2,5

Tab.136 Taglio resistente.

$V_{c,Rd}$	A_v	f_{yk}	γ_{M0}
N	mm ²	N/mm ²	
26956,35	178,27	275	1,05

Poiché $V_{ed} \leq 0,5V_{c,Rd}$ la verifica di resistenza della sezione per il profilo in esame può essere condotta senza tenere in considerazione l'influenza del taglio.

Tab.137 Confronto tra taglio resistente ed azione interna.

$V_{c,Rd}$	T
N	N
26956,347	200

Il criterio di verifica da utilizzare è il seguente per le sezioni di classe 1 e classe 2 come prescritto §5.4.8.12 della normativa EC3: $\frac{N_{ed}}{(N_{pl,Rd})} + \frac{M_{y,ed}}{(M_{pl,Rd,y})} + \frac{M_{z,ed}}{(M_{pl,Rd,z})} \leq 1$

Dove:

$N_{pl,Rd}$ è la resistenza di calcolo a compressione della sezione in direzione y-y per le sezioni di classe 1,2,3;

$M_{pl,Rd,y}$ retta della sezione in direzione y-y per le sezioni di classe 1,2;

$M_{pl,Rd,z}$ è la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione in direzione z-z per

le sezioni di classe 1,2.

La resistenza di calcolo a compressione $N_{pl,Rd}$ è stata valutata in base alla (4.2.11) del §4.2.4.1.22 delle NTC2008: $N_{c,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$

Tab.138 Resistenza di calcolo a compressione.

$N_{c,Rd}$	A	f_{yk}	γ_{M0}
N	mm ²	N/mm ²	
90619,05	346	275	1,05

La resistenza di calcolo a flessione è stata valutata in riferimento alla (4.2.12) del §4.2.4.1.22 delle NTC2008: $M_{c,Rd} = \frac{(W_{pl,y} \cdot f_{yk})}{\gamma_{M0}}$

Risulta dunque:

Tab.139 Resistenza di calcolo a flessione.

$M_{c,Rd,y}$	$W_{pl,y}$	f_{yk}	γ_{M0}
Nmm	mm ³	N/mm ²	
1456190,48	5560	275	1,05

Tab.140 Criterio di verifica della resistenza della sezione a presso-flessione.

M_y	$M_{c,Rd,y}$	N	$N_{c,Rd}$	$\sigma/f_{yd} < 1$
Nmm	Nmm	N	N	
200000	1456190,48	2000	90619,05	0,159415085

La sezione è ampiamente verificata, tale profilo è stato scelto, infatti, per motivi costruttivi.

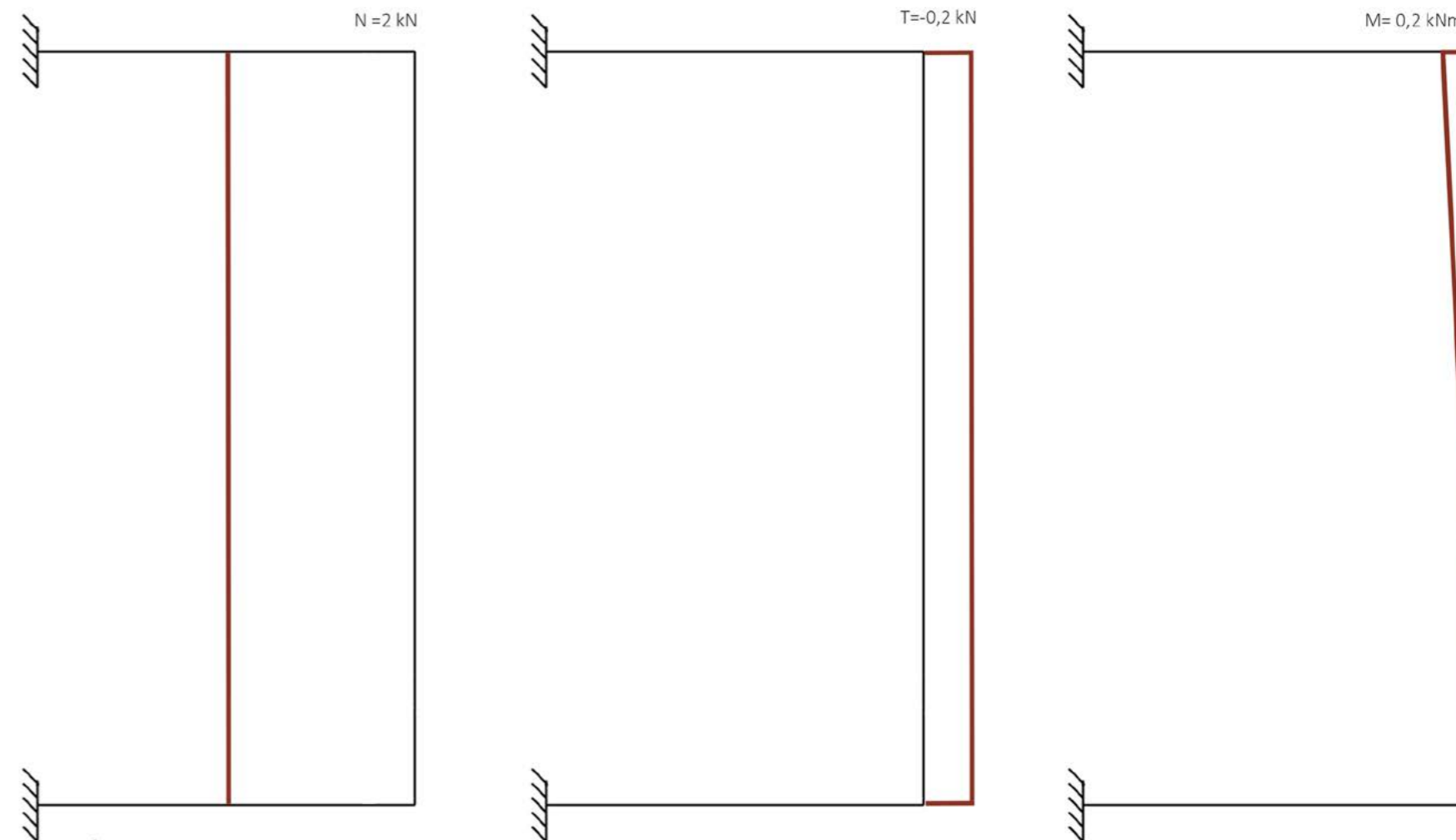


Fig.254 Azioni interne al pilastro della serra.

L'ultimo profilo predimensionato è quello individuato in figura:

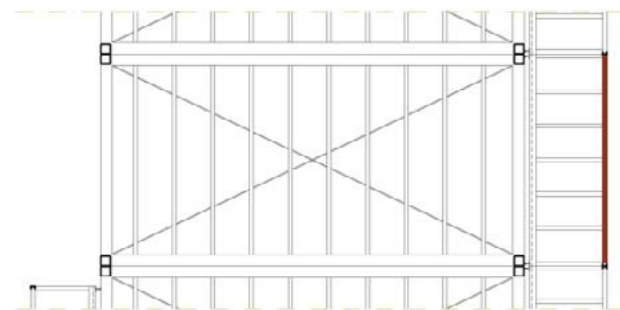


Fig.255 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

In questo caso lo schema statico considerato è:

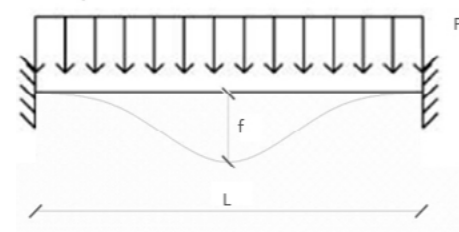


Fig.256 Schema statico incastro-incastro.

La freccia massima in mezzeria si ricava dalla formula: $f = \frac{P \cdot L^4}{384EI}$ e quindi l'inerzia

$$\text{risulta } I = \frac{P \cdot L^4}{384Ef}$$

Seguendo il procedimento illustrato per lo schema statico a mensola si ricava:

Tab.141 Inerzia di predimensionamento della sezione.

P_{SLE}	L	δ_{max}	E	E	I_y	I_y
kN/m	m	m	N/mm ²	kN/m ²	m ⁴	cm ⁴
3,51	1,2	0,013	210000	210000000	3,9E-07	39,04

Si sceglie quindi un profilo ad "U" di in acciaio con inerzia maggiore di quello necessario per motivi costruttivi, poiché all'interno dello stesso vengono saldati quelli precedentemente dimensionati. La sezione scelta è quindi una "U" 90x60x2,5 mm con $I=70,23 \text{ cm}^4$ e con peso proprio di 0,04 kN/m.

Introducendo il peso proprio nel carico applicato, entrambe le verifiche di deformabilità vengono verificate:

Tab.142 Confronto tra freccia del profilo e freccia massima consentita.

P	δ_{max}	L	δ_{lim}
kN/m	mm	mm	mm
3,55	7	3300	13
Q	δ_2	L	δ_{lim}
kN/m	mm	mm	mm
2,4	5	3300	11

7.6.1 VERIFICA COLLEGAMENTI BULLONATI

Al fine di ottenere anche nella realtà lo schema statico considerato nelle verifiche, è necessario predisporre un giunto bullonato che consenta l'incastro, e quindi la trasmissione di taglio e momento, tra elementi a sbalzo e travi del modulo. Tale giunto viene ottenuto mediante l'uso di bulloni.

La scelta di questo tipo di connessione è già stata ampiamente esplicitata nel Paragrafo 7.2. Di seguito vengono riportate alcune immagini per fare comprendere il collegamento che verrà preso in considerazione nelle verifiche successive.

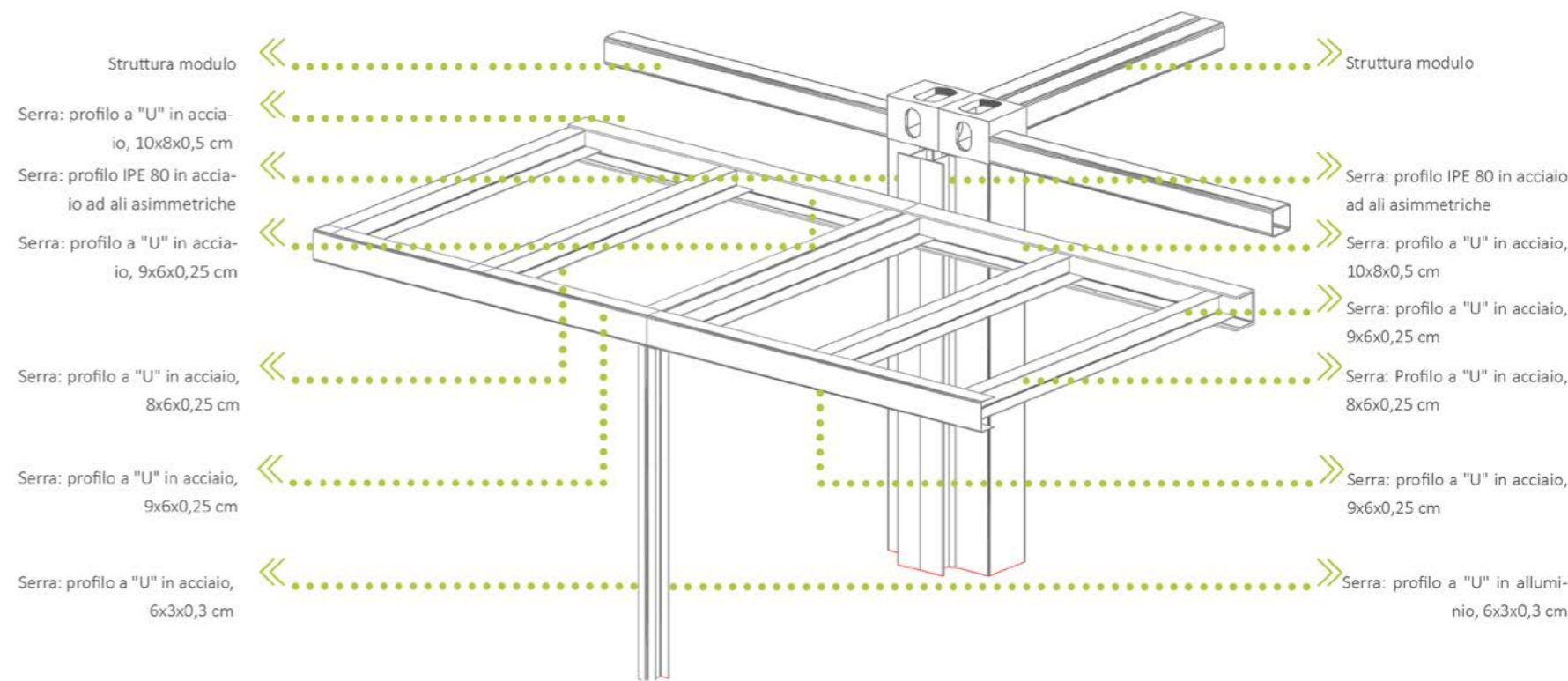


Fig.257 Componenti strutturali e connessioni degli elementi della serra con la struttura del modulo.

Come si vede nell'immagine superiore, gli elementi a sbalzo non sono direttamente connessi con la struttura principale del modulo prefabbricato. Ciò accade a causa della presenza della stratigrafia già completa in fase di posa dello stesso. Per questo motivo si utilizzano profili ad IPE in acciaio per "portare all'esterno" del pacchetto tecnologico la struttura portante dell'elemento, al fine di facilitare la connessione con i profili delle parti a sbalzo. La scelta di un profilo con tale forma, deriva dalla necessità di avere un isolamento continuo. A questi elementi

vengono saldate poi le "U" in cui si innestano le travi di bordo della serra che vengono successivamente imbullonate.

La disposizione dei bulloni che verrà considerata nella verifica è quella rappresentata nelle immagini successive. Ogni profilo ad "U" disposto trasversalmente alla trave di bordo, presenta una connessione a destra e a sinistra. Il giunto, inoltre, interessa sia l'anima che le ali della trave di bordo per garantire la trasmissione degli sforzi che consentono l'incastro.

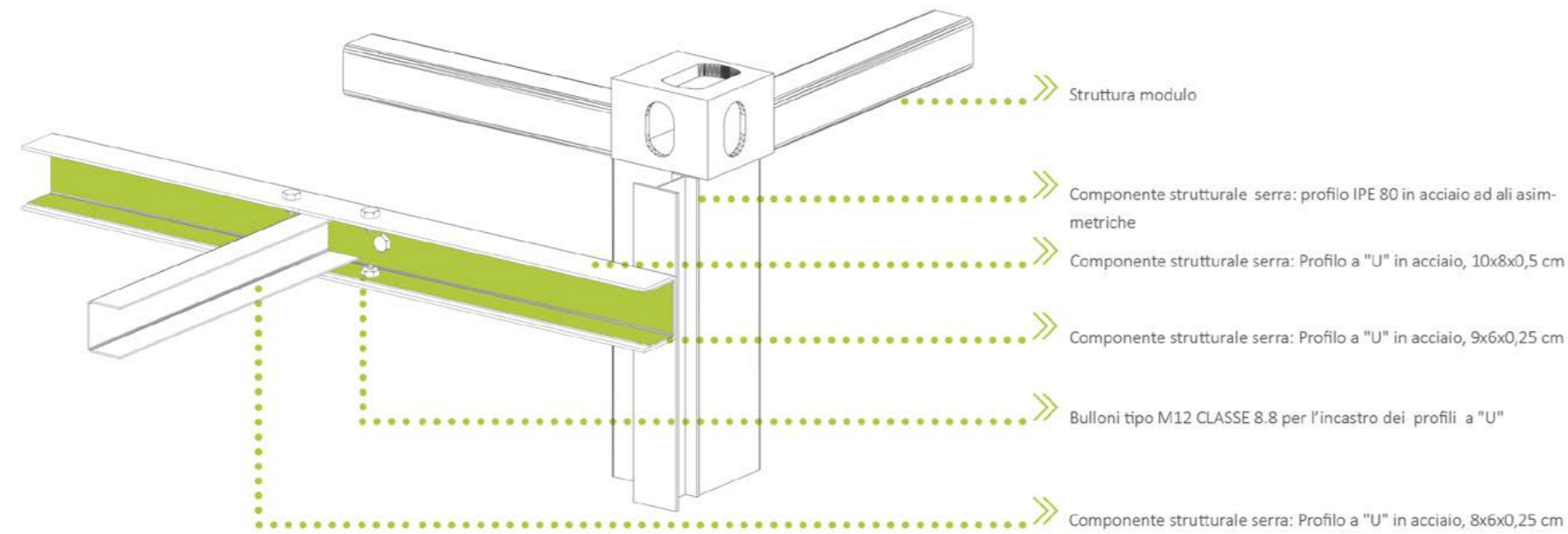


Fig.258 Spaccato assonometrico del giunto bullonato.

Di seguito verranno esplicate le verifiche portate avanti per ogni bullone presente nella connessione.

Si procede, innanzitutto, con la verifica a taglio del singolo bullone [Rif. *NTC*, § 4.2.8.1.1], attraverso la quale si stabilisce preliminarmente se il diametro ipotizzato è in grado di resistere alla sollecitazione dovuta all'azione di taglio gravante sul bullone. Il bullone scelto risulta verificato se vale: $F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$.

Dove:

$F_{V,Rd}$ è la capacità resistente del singolo bullone, che, per ogni piano di taglio che interessa il gambo dell'elemento di connessione, è pari a $F_{V,Rd} = \frac{0,6 f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}}$, per bul-

lone di classe 4.6, 5.6 e 8.8.

Con:

f_{tb} che è lo sforzo di rottura del bullone, variabile in base alla classe di resistenza [Rif. *NTC*, §11.3.4.6.1];

A_{res} è l'area resistente del bullone, relativa alla parte filettata del gambo, interessata dal piano di taglio;

γ_{M2} è un fattore parziale di sicurezza per il calcolo della resistenza a taglio delle viti e dei chiodi, per il rifollamento delle piastre collegate e per il precarico dei bulloni [Rif. *NTC*, §4.2.8.1.1 Tab:4.2.XII]:

Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza dei chiodi	
Resistenza delle connessioni a perno	
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	$\gamma_{M3} = 1,25$ $\gamma_{M3} = 1,10$
Resistenza dei piatti a contatto	
Resistenza a scorrimento per SLU per SLE	
Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Precarico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7} = 1,10$

Fig.259 Tab.4.2.XII-Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.

Si è scelto il diametro e la tipologia dei bulloni, ottenendo così le seguenti azioni resistenti relative agli stessi:

Tab.143 Azione resistente del bullone.

	TIPO	CLASSE	f_{tb} kN/mm ²	f_{tb} kN/m ²	A_{res} mm ²	A_{res} m ²	γ_{M2}	$F_{V,Rd}$ kN
ALI	M12	8.8	800	800000	84,3	0,000084	1,25	32,37
ANIMA	M12	6.8	600	600000	84,3	0,000084	1,25	24,28

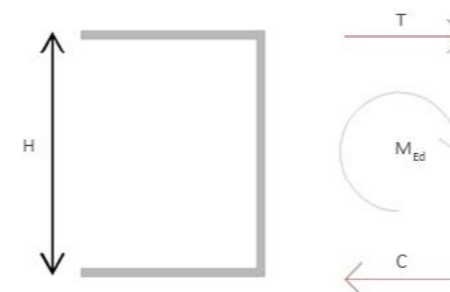


Fig.260 Scomposizione del momento sulla sezione.

$F_{V,Ed}$ è invece l'azione di taglio agente sul singolo bullone.

Per quanto riguarda i bulloni di connessione delle ali si ha che l'azione di taglio per il bullone, corrisponde all'azione di compressione/ trazione causata dal momento agente sulla trave. Si hanno quindi un'azione di trazione e compressione sulle ali della sezione il cui valore vale $T/C = \frac{M_{Ed}}{H}$.

La forza ricavata vale perciò:

Tab.144 Forza agente sul bullone.

M_{Ed} kNm	I m ⁴	$H/2$ m	T/C kN	F_{Ed} kN
2,3	5,385E-07	0,04	25,6	12,8

Poiché la forza di trazione/compressione è divisa tra due bulloni simmetrici, il taglio agente F_{Ed} considerato per la verifica, risulta $F_{Ed} = T/2$ o $F_{Ed} = C/2$.

Paragonando azione agente ed azione resistente si ha quindi che la verifica è soddisfatta.

Tab.145 Confronto tra forza agente e forza resistente.

F_{Ed} kN	$F_{V,Rd}$ kN
12,8	32,37

Per quanto riguarda i bulloni posti sull'anima de profilo, la forza agente considerata risulta l'azione di taglio che nasce dallo schema statico precedentemente descritto. Anche in questo caso la verifica risulta soddisfatta avendo un $V_{Ed} = 5,2$ kN, che diviso sui due bulloni simmetricamente caricati risulta $F_{Ed} = T_{Ed}/2 = 2,6$ kN.

Si ha perciò:

Tab.146 Confronto tra forza agente e forza resistente.

F_{Ed}	F_{VRd}
kN	kN
2,6	24,28

In conclusione, la verifica risulta soddisfatta per le seguenti tipologie di bulloni:

Tab.147 Tipologia di bulloni scelta.

	TIPO	CLASSE
ALI	M12	8.8
ANIMA	M12	6.8

Poiché il diametro risulta il medesimo, non è conveniente utilizzare due classi differenti, poiché potrebbero essere confusi in fase di montaggio. Si sceglie perciò di utilizzare anche nel caso dell'anima bulloni di classe 8.8. Si ha quindi:

Tab.148 Tipologia di bulloni scelta.

	TIPO	CLASSE
ALI	M12	8.8
ANIMA	M12	8.8

7.6.2 VERIFICHE DELLE PIASTRE

Sono state inoltre verificate le piastre, ovvero le parti dei profili interessate nel collegamento.

Nell'immagine di seguito si rappresenta lo schema del giunto con i parametri applicati di seguito.



Fig.261 Distanze considerate nei calcoli.

In primo luogo è stata effettuata una verifica a strappamento e tranciamento. Tali verifiche sono automaticamente soddisfatte se risultano verificate le seguenti condizioni geometriche:

- in caso di strappamento, $m = 2$, con $m \cdot d < e_1$
- in caso di tranciamento, $m = 1,5$, con $m \cdot d < e_2$

I valori di m derivano dall'ipotesi che le due rotture avvengano contemporaneamente.

Per quanto riguarda i profili delle ali si ha:

Tab.149 Verifica a tranciamento e strappamento.

STRAPPAMENTO				
m	d	m*d	e_1	
	m		m	
2	0,012	0,024	0,03	VERIFICATO

TRANCIAMENTO				
m	d	m*d	e_1	
	m		m	
1,5	0,012	0,018	0,03	VERIFICATO

Il valore e_1 rappresenta la distanza del baricentro del bullone dal bordo della piastra, lungo la direzione della forza di taglio applicata.

Si procede con la stessa procedura per i bulloni dell'anima e si ha quindi:

Tab.150 Verifica a tranciamento e strappamento.

STRAPPAMENTO				
m	d	m*d	e_1	
	m		m	
2	0,012	0,024	0,04	VERIFICATO

TRANCIAMENTO				
m	d	m*d	e_1	
	m		m	
1,5	0,012	0,018	0,04	VERIFICATO

Sono stati infine verificati gli stessi profili a rifollamento. Poiché si tratta di profili formati a freddo, si applicano le formule tratte dalla NTC, § C4.2.12.2.6.4.1.

La formula da considerare per il calcolo della forza resistente della lamiera è:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$$\alpha_b = \min[1; e_1/3d];$$

$k_t = 1$ poiché la lamiera ha uno spessore $t > 1,25$ mm;

t è lo spessore della lamiera, in questo caso del profilo;

d è il diametro del bullone;

γ_{M2} è un fattore parziale di sicurezza per il calcolo della resistenza a taglio delle viti e dei chiodi, [Rif. NTC, §4.2.8.1.1 Tab:4.2.XII];

f_{tk} è il valore caratteristico a rottura della tipologia di acciaio utilizzato.

Il valore finale nel caso delle ali e dell'anima è tale da soddisfare le verifiche:

Tab.151 Verifica a rifollamento.

ALI								
e_1	d	α_b	k_t	t	f_{tk}	f_{tk}	γ_{M2}	$F_{b,Rd}$
m	m			m	N/mm ²	kN/m ²		kN
0,03	0,012	0,83	1,00	0,0025	430,00	430000	1,25	21,50
ANIMA								
e_1	d	α_b	k_t	t	f_{tk}	f_{tk}	γ_{M2}	$F_{b,Rd}$
m	m			m	N/mm ²	kN/m ²		kN
0,04	0,01	1,11	1,00	0,0025	430,00	430000	1,25	25,80

7.7 ELEMENTI STRUTTURALI DEI MODULI

7.7.1 ORDITURA DEL SOLAIO

Le parti analizzate in questo paragrafo sono gli elementi dell'orditura del solaio dei moduli prefabbricati.

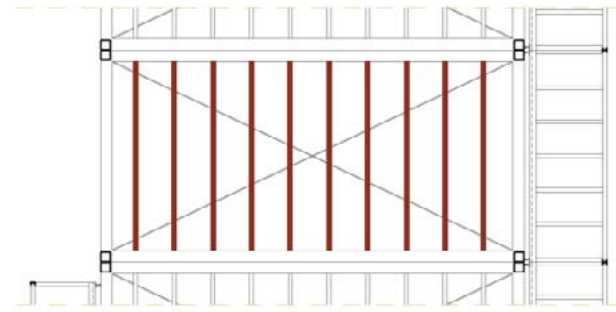


Fig.262 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

Anch'essi sono stati predimensionati rispetto ai limiti di deformabilità.

Poiché i profili sono saldati alle travi di bordo, anche in questo caso si adotta uno schema statico incastro-incastro caricato con un carico distribuito corrispondente al carico dedotto nelle combinazioni.

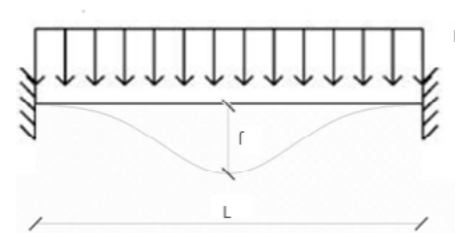


Fig.263 Schema statico incastro-incastro.

La freccia massima è quella in mezzera e si ricava dalla formula: $f = \frac{P \cdot L^4}{384EI}$ e quindi

l'inerzia risulta $I = \frac{P \cdot L^4}{384E f}$.

Applicando i carichi allo Stato Limite di Esercizio e seguendo la formula data nella *NTC 2008 § 4.2.4.2.1.* e i valori limite dati nella *Tab. 4.2.1.X* della stessa norma, i risultati sono:

Tab.152 Inerzia di predimensionamento della sezione.

P _{SLE}	L	δ _{max}	E	E	I _y	I _y
kN/m	m	m	N/mm ²	kN/m ²	m ⁴	cm ⁴
3,6	3,3	0,013	210000	210000000	4,01*E-06	40,1

Il carico distribuito applicato si ricava moltiplicando il carico al metro quadrato ricavato nelle combinazioni di carico allo SLE, per l'interasse tra i profili, ovvero 0,4 m.

E' stato scelto di utilizzare un interasse ridotto poiché, essendo la struttura in acciaio molto leggera, la rigidità del solaio risulta limitata. Ciò può provocare un'eccessiva deformabilità e quindi una perdita del livello di comfort auspicabile in una residenza.

Di seguito si riportano i valori utilizzati per ricavare il carico distribuito allo SLE calcolato come spiegato nel Paragrafo 7.4.

Tab.153 Carico agente.

P SLE	INTERASSE	P SLE
kN/m ²	m	kN/m
9,0	0,4	3,6

Si sceglie quindi un profilo ad "C" in acciaio di dimensioni 150x60x25x1,5 mm [Rif. Tavola 51] con I=166,15 cm⁴ e con peso proprio trascurabile su indicazione del produttore. La sezione risulta sovradimensionata rispetto al limite di inerzia trovato per motivi di rigidità e di sicurezza, data la snellezza dei profili soggetti ad instabilità locale; a causa di questo fenomeno, infatti, alcune parti della sezione non agiscono al fine della resistenza del profilo, poiché, appunto, si instabilizzano.

Tale dimensione, inoltre, è quella utilizzata per la struttura dei container industriali di tipo "Edilsider" e, una volta verificata in questa sede, per quanto riguarda la stabilità, è stata assunta come elemento di progetto.

Poiché il peso proprio è trascurabile, la verifica a deformabilità per quanto riguarda la freccia massima risulta automaticamente verificata. E' necessario però considerare il caso dello spostamento causato dai soli carichi variabili Q. Anche in questo caso i profili scelti risultano adatti:

Tab.154 Confronto tra freccia del profilo e freccia massima consentita.

P	δ _{max}	L	δ _{lim}
kN/m	mm	mm	mm
3,6	3,2	3300	13
Q	δ ₂	L	δ _{lim}
kN/m	mm	mm	mm
2,	2,3	3300	11

7.7.2 TRAVE DI BORDO

7.7.2.1 PREDIMENSIONAMENTO

Per quanto riguarda il predimensionamento, è stata presa in considerazione la più lunga delle travi del modulo prefabbricato, poiché, essa risulta quella con la configurazione più gravosa.

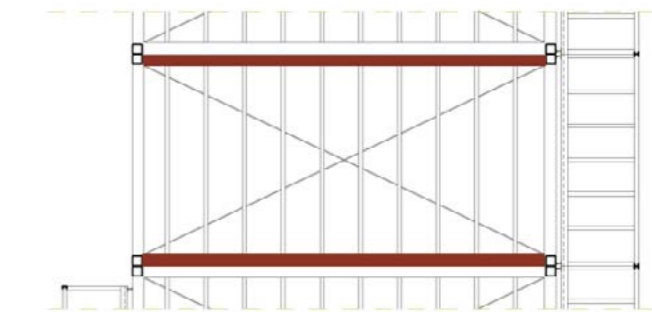


Fig.264 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

Anche in questo caso si adotta uno schema statico incastro-incastro, poiché tutti gli elementi della struttura principale risultano saldati tra loro.

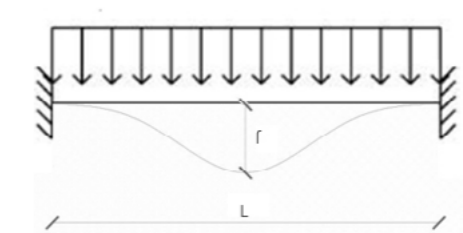


Fig.265 Schema statico incastro-incastro.

Per questo schema, la freccia massima risulta nuovamente quella in mezzzeria e si ricava dalla formula già definita in precedenza: $f = \frac{P \cdot L^4}{384EI}$. Da questa l'inerzia risulta

$$I = \frac{P \cdot L^4}{384Ef}$$

Si applicano di nuovo i carichi allo Stato Limite di Esercizio trovati nelle combinazioni e seguendo la formula data nella *NTC 2008 § 4.2.4.2.1.* e i valori limite dati nella *Tab. 4.2.1.X* della stessa norma, i risultati sono:

Tab.155 Inerzia di predimensionamento della sezione.

P _{SLE}	L	δ _{max}	E	E	I _y	I _y
kN/m	m	m	N/mm ²	kN/m ²	m ⁴	cm ⁴
23	6,6	0,0264	210000	210000000	2,037*E-05	2036,61

Il carico distribuito applicato deriva dalle reazioni vincolari dei profili di orditura che scaricano sulla trave stessa. Tale reazione si calcola, considerando una configurazione incastro-incastro, utilizzando la formula $V_{Ed} = \frac{P \cdot L}{2}$ con P che è il carico

allo SLE derivante dalle combinazioni. Dividendo tale reazione per l'interasse si ha un carico distribuito a cui sommare il peso della facciata gravante sulla trave.

Tab.156 Carichi agenti sul profilo.

P SLE	L	V	SEMI-INTERASSE	P _{SLE}	P _{FACCIATA}	P _{SLE}
kN/m	m	kN	m	kN/m ²	kN/m	kN/m
3,6	3,3	5,94	0,4	14,85	6,32	23

Partendo dal valore di inerzia trovato è stato scelto il profilo con quella appena maggiore. Poiché nelle verifiche successive della trave, il profilo con tali dimen-

sioni non è risultato sufficiente, è stato necessario iterare il procedimento fino alla definizione di un profilo adatto a soddisfare tutte le verifiche.

Tale profilo è un tubolare quadrato in acciaio laminato a caldo di dimensioni 180x180x12 mm [Rif. Tavola 51], peso 0,62 kN/m e inerzia I=3670 cm⁴.

La scelta di un profilo chiuso deriva dal fatto che le travi del container sono sollecitate a torsione e tale tipo di profilo offre una resistenza maggiore a tale sollecitazione.

Di seguito vengono riportate le verifiche effettuate per tale sezione.

7.7.2.2 VERIFICA A TAGLIO

Per la verifica a taglio della trave in esame si fa riferimento alla *NTC, § 4.2.4.1.2.*

Secondo tale norma, la verifica è soddisfatta se è rispettata la seguente disegualianza: $\frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 1$.

Dove:

V_{Ed} è il taglio agente sulla sezione;

V_{c,Rd} è la resistenza di calcolo a taglio.

La resistenza di calcolo a taglio V_{c,Rd} in assenza di torsione vale: $V_{c,Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{V_{MO} \sqrt{3}}$

Dove A_v è l'area resistente a taglio, che, nel caso di profili rettangolari cavi di spessore uniforme con carico parallelo all'altezza del profilo, vale: $A_v = \frac{A \cdot h}{b+h}$.

In cui:

A è l'area lorda della sezione del profilo,

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave,

h è l'altezza della sezione.

In questo caso V_{c,Rd} vale:

Tab.157 Taglio resistente.

	f _{yk}	A	A _v	V _{MO}	V _{c,Rd}
	kN/m ²	m ²	m ²		kN
LATO CORTO	275000	0,008	0,004	1,05	598,04
LATO LUNGO	275000	0,008	0,004	1,05	598,04

Poiché le travi che delimitano il lato corto del modulo prefabbricato, sono soggette alla torsione causata dagli sbalzi esterni dei baconi, in questo caso è stato necessario ridurre il taglio resistente secondo la formula:

$$V_{c,Rd,red} = \left[1 - \frac{\tau_{ed}}{f_{yk} / (V_{MO} \cdot \sqrt{3})} \right] \cdot V_{c,Rd}$$

E la condizione di verifica che il profilo deve soddisfare risulta: $\frac{V_{c,Rd,red}}{V_{Ed}} \geq 1$

Per calcolare la τ_{ed} si utilizza la formula del caso della torsione sui profili sottili, quindi $\tau_{ed} = \frac{T_{ed}}{2 \cdot \Omega \cdot t}$.

Dove:

T_{ed} è il momento di torsione agente sulla trave, ed equivale al momento all'incastro della trave calcolato tramite il software FTool nello schema statico degli elementi a sbalzo precedente presentato, ovvero T_{ed}=2,8 kNm;

Ω è l'area racchiusa dalla linea media della sezione;

t è lo spessore minimo del profilo.

Tab.158 Sforzi tangenziali interni alla sezione.

T _{ed}	Ω	t	τ _{ed}
kNm	m ²	m	kN/m ²
2,3	0,029	0,012	3318,33

Da tale valore è possibile ricavare V_{c,Rd,red}:

Tab.159 Taglio resistente.

	f _{yk}	V _{MO}	V _{c,Rd}	τ _{ed}	V _{c,Rd,red}
	kN/m ²		kN	kN/m ²	kN
LATO CORTO	275000	1,05	598,04	3318,33	584,91
LATO LUNGO	275000	1,05	598,04	0	598,04

Per il calcolo del taglio agente sulla sezione si utilizza lo schema statico incastro-incastro con carico distribuito allo SLU, dove il taglio massimo è agli estremi e vale: $V_{Ed} = \frac{P \cdot L}{2}$.

Il carico P agente viene ricavato diversamente nel caso del lato lungo e corto del modulo.

Nel caso del lato lungo il carico distribuito viene calcolato come spiegato nel capitolo del predimensionamento, partendo però dai carichi allo SLU e moltiplicando il peso proprio della trave e della facciata per i rispettivi coefficienti della stessa combinazione.

Tab.160 Carichi agenti sul profilo.

P _{SLU}	L	V	SEMINTERASSE	P _{SLU}	P _{FACCIATA}	P _{G1}	P _{TOT}
kN/m	m	kN	m	kN/m ²	kN/m	kN/m	kN/m
5,4	3,3	8,8	0,4	22,1	6,3*1,5=9,5	23*1,3=0,8	32,4

Con

Tab.161 Carichi permanenti.

P _{G1}	P _{FACCIATA}	Y _{G1}	Y _{G2}
kN/m	kN/m		
0,621	6,32	1,3	1,5

Il carico totale è quindi: P=32,4 kN/m.

Per quanto riguarda le travi disposte sul lato corto del modulo prefabbricato, il taglio massimo agli estremi è la somma di diversi contributi di taglio:

- quello causato dal carico distribuito derivante dalle reazioni dei profili a sbalzo;
- quello causato dal carico distribuito dal peso della facciata e dal peso proprio del profilo;
- quello agli estremi derivante dalle reazioni vincolari dalle travi ad esse ortogonali appena analizzate.

I profili a sbalzo offrono una reazione vincolare all'incastro (calcolata dagli schemi statici precedentemente descritti) pari a V=5,2 kN. Per ottenere il carico distribuito applicato alla trave è necessario dividere per l'interasse tra tali profili:

$P=V/i=5,2/0,55=9,5$ kN/m .

Il carico distribuito che causa il secondo contributo di taglio, seguendo il calcolo allo SLU vale:

Tab.162 Carichi agenti sul profilo.

P _{FACCIATA}	P _{G1}	P _{TOT}
kN/m	kN/m	kN/m
6,32*1,5=9,48	0,62*1,3=0,81	10,29

Considerando:

Tab.163 Carichi permanenti.

P _{G1}	P _{FACCIATA}	Y _{G1}	Y _{G2}
kN/m	kN/m		
0,621	6,32	1,3	1,5

Il carico distribuito totale vale quindi P=19,74 kN/m.

Il terzo contributo viene calcolato dalla reazione vincolare data dalla formula $V_{Ed} = \frac{P \cdot L}{2}$ per uno schema statico incastro-incastro relativo alla trave lunga ortogonale all'elemento considerato.

I carichi agenti sono quindi:

Tab.164 Carichi agenti totali.

	P _{TOT}
	kN/m
LATO CORTO	25,10
LATO LUNGO	32,38

Si ottengono quindi i valori di taglio agente:

Tab.165 Taglio agente.

	P _{TOT}	LUCE	V _{ed}
	kN/m	m	kN
LATO CORTO	19,74	3,3	139,43
LATO LUNGO	32,38	6,6	106,86

Confrontando il taglio agente con il taglio resistente si ottengono valori maggiori di 1, la verifica risulta quindi soddisfatta:

Tab.166 Confronto tra taglio agente e taglio resistente.

	V _{c,Rd,red}	V _{ed}	V _{c,Rd,red} /V _{ed}	
	kN	kN		
LATO CORTO	584,91	139,43	4,20	≥1 VERIFICATO
LATO LUNGO	598,04	106,86	5,60	≥1 VERIFICATO

7.7.2.3 VERIFICA ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

In aggiunta alla verifica a taglio, per quanto riguarda la trave corta, è stato effettuato un confronto tra gli sforzi interni al profilo dovuti a taglio e torsione e lo sforzo massimo ammissibile per il profilo.

La verifica sarà soddisfatta se: $\tau_{ed} \leq 0,8 \frac{f_{yk}}{Y_{M0} \cdot \sqrt{3}}$.

τ_{ed} considera il contributo di taglio e di torsione.

Lo sforzo dovuto alla presenza di torsione sul profilo è quello calcolato al Paragrafo 7.7.2.2 e vale $\tau_{ed,tors} = 3318,33$ kN/m² ed è costante sulla sezione come rappresentato nella figura successivamente riportata.

Il contributo causato dal taglio è ricavabile tramite la formula di Jurawsky

$$\tau_{ed,taglio} = \frac{V_{ed} \cdot S}{2It}$$

Dove:

V_{ed} è il taglio agente calcolato nel Paragrafo 7.7.2.2;

S è il momento statico della corda in esame;

t è lo spessore del profilo;

I è l'inerzia della sezione.

La distribuzione dello sforzo di taglio per questo tipo di profilo non è costante, ma segue l'andamento riportato nella figura di seguito.

Lo sforzo massimo si trova a metà della parete verticale del profilo. Il momento statico utilizzato nella formula riguarderà la metà superiore della sezione.

Lo sforzo di taglio massimo è quindi:

Tab.167 Sforzo tangenziale dovuto al taglio.

	V_{ed}	t	I_y	S	$\tau_{ed,taglio}$
	kN	m	m ⁴	m ³	kN/m ²
LATO CORTO	139,43	0,012	0,00004	0,0003	46160,29

Considerando $\tau_{ed,tot} = \tau_{ed,taglio} + \tau_{ed,torsione}$ è possibile effettuare il confronto di sopra esplicitato, dimostrando che la verifica risulta soddisfatta:

Tab.168 Sforzo tangenziale totale.

f_{yb}	γ_{M0}	f_{yd}	$0,8f_{yd}/\sqrt{3}$	$\tau_{ed,tot}$
kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
275000,00	1,05	261904,76	120968,63	≥ 49478,62
				VERIFICATO

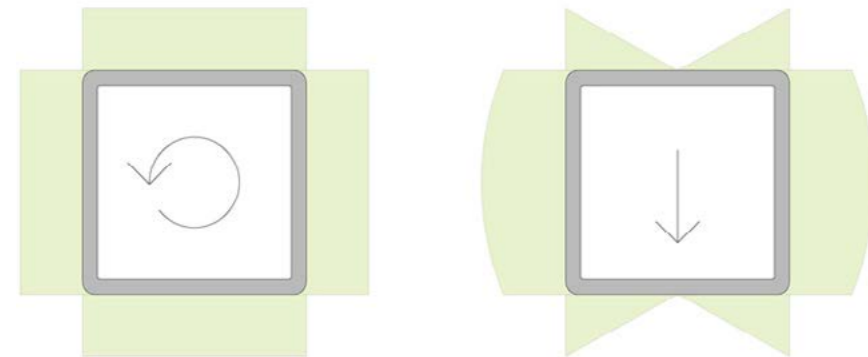


Fig.266 Distribuzione delle tensioni tangenziali nel caso della torsione e del taglio.

7.7.2.4 FLESSIONE

Per quanto riguarda la verifica a flessione del profilo, si è fatto riferimento alla NTC, § 4.2.4.1.2..

Si considera per i calcoli successivi la trave con luce e carichi maggiori, ovvero quella disposta lungo il lato lungo del modulo, che presenta la situazione a flessione maggiormente critica.

Prima di tutto si verifica che il taglio agente non superi la metà del taglio resistente.

I valori confrontati sono quelli ricavati nel Paragrafo 7.7.2.2 .

Tab.169 Confronto tra taglio agente e taglio resistente.

$0,5V_{crd,red}$	V_{ed}
kN	kN
299,02	≥ 106,86

In questo caso è possibile non considerare il contributo di taglio sulla resistenza a flessione.

Affinchè l'elemento strutturale risulti verificato a flessione, deve risultare valida la seguente disequaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$

Dove:

M_{Ed} è il momento flettente di calcolo;

$M_{c,Rd}$ è il momento resistente della sezione.

La formula per il calcolo di $M_{c,Rd}$ dipende dalla classe del profilo in esame.

Dal §4.2.3.1 viene definito che "le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale C_θ definita come:

$$C_\theta = \vartheta_r / \vartheta_y - 1$$

Essendo ϑ_r e ϑ_y le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento."

Nella normativa si distinguono le classi in base alla loro capacità di sviluppare il momento plastico senza instabilizzarsi prima del suo raggiungimento:

- classe 1, sezioni compatte con $C_\theta \geq 3$;
- classe 2, sezioni compatte con $C_\theta \geq 1,5$;
- classe 3, sezioni moderatamente snelle;
- classe 4, sezioni snelle.

Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione, le seguenti tabelle Tab. 4.2.I, 4.2.II e 4.2.III presenti nella normativa sopra citata, forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

Occorrerebbe fare una verifica differente sia per le ali che per l'anima; essendo, però il profilo in esame, un tubolare cavo quadrato, viene considerata la tabella seguente sia per la piattabanda superiore che laterale.

Dato che, l'acciaio ha un valore $f_{yk} = 275$ N/mm², $\epsilon = 0,92$.

Facendo gli opportuni confronti si ha:

Tab.170 Classificazione della sezione.

c	t	c/t	C_1	FLESSIONE	COMPRESSIONE
mm	mm				
156	12	13	66,24		30,36

Il profilo risulta quindi in CLASSE 1.

Parti interne compresse						
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha) 0,5 : c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha) 0,5 : c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi) -1 : c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1 : c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$e = \sqrt{235 / f_{yk}}$	f_{yk}	335	275	355	430	460
	e	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Fig.267 Tab.4.2.I-Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse.

Per questo motivo è possibile utilizzare per il calcolo del $M_{c,Rd}$ la formula adatta alle sezioni di classe 1 e 2: $M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$.

Dove:

$W_{pl} = 494 \text{ cm}^3$ è il modulo di resistenza plastica per la sezione considerata;

$\gamma_{M0} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;

$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento.

Tab.171 Momento resistente.

W_{pl} m ³	f_{yk} kN/m ²	γ_{M0}	M_{rd} kNm
0,000494	275000	1,05	129,38

Per quanto riguarda il momento agente, esso si ricava considerando una trave incastro-incastro con carico distribuito.

In questo caso il momento massimo è quello agli estremi e vale $M_{Ed} = \frac{P \cdot L^2}{12}$. Il ca-

rico distribuito utilizzato è quello calcolato nel Paragrafo 7.7.2.1.

Si ottiene quindi:

Tab.172 Momento agente.

P kN/m	L m	M_{ed} kNm
32,38	6,6	117,54

Mettendo a confronto momento agente e momento resistente, si dimostra quin-

di che il profilo scelto risulta verificato.

Tab.173 Confronto tra momento agente e momento resistente.

M_{rd} kNm	M_{ed} kNm	M_{rd}/M_{ed}	
129,38	117,54	1,1	≥1 VERIFICATO

7.7.2.5 INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

Per la verifica ad instabilità flessio-torsionale si è fatto riferimento all' *Eurocodice 3*, in particolare alla *UNI ENV 1993-1-1 § 5.5.2*. Anche in questo caso la condizione più gravosa risulta quella agli estremi della trave di bordo più lunga all'interno del modulo.

Come con la flessione semplice, la verifica è soddisfatta se è valida la seguente disequaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$

Con:

M_{Ed} è il momento flettente di calcolo;

$M_{c,Rd}$ è il momento resistente della sezione.

In questo caso, però, il momento resistente viene calcolato come:

$$M_{c,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

In questa formula:

$W_{pl} = 494 \text{ cm}^3$ è il modulo di resistenza plastica per la sezione considerata;

$\gamma_{M1} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;

$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento;

χ_{LT} è il coefficiente di riduzione per instabilità flessio-torsionale.

Quest'ultimo termine si calcola tramite: $\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT}^2 + [\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2]^{0,5}}$.

Dove:

Φ_{LT} si calcola con la formula $\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2 \right]$;

λ_{LT} è la snellezza adimensionale ed è definita da $\lambda_{LT} = \left[\frac{\beta_w W_{pl} f_y}{M_{cr}} \right]$;

Per ricavare Φ_{LT} è necessario il coefficiente di imperfezione per instabilità flessio-torsionale α_{LT} che nel caso in esame, avendo una sezione laminata, vale $\alpha_{LT} = 0,21$.

Per ottenere λ_{LT} è stato ricavato M_{cr} ovvero il momento critico elastico per instabilità flessio-torsionale.

Secondo l' *Appendice F § 1.3 (2)* della norma sopra citata, per la condizione di carico di momento agli estremi si usa $M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0,5}$.

Con:

k e k_w che sono i coefficienti di lunghezza efficaci e valgono entrambi 0,5 nel caso di estremi incastrati; in particolare k è legato alla rotazione di un estremo del piano e k_w è riferito all'ingobbamento dello stesso;

$C_1 = 0,712$ si ricava dal *Prospetto F1.2* e dipende dal caso di carico e dal valore di k;

E è il modulo elastico dell'acciaio;

L è la luce della trave;

I_z è l'inerzia minore del profilo;

I_w è il modulo di inerzia biflessionale; poiché il profilo utilizzato è chiuso, l'inerzia biflessionale è trascurabile rispetto a quella torsionale, per questo motivo tale termine viene considerato nullo;

I_t è l'inerzia torsionale della sezione scelta ed è ricavabile da profilario;

G è il modulo di taglio e vale $G=E/(2(1+\nu))$ con $\nu=0,3$ che è il coefficiente di Poisson.

M_{cr} è quindi:

Tab.174 Momento critico.

C_1	E	I_z	I_z	k	k_w	I_w	I_t	I_t	L	ν	G	M_{cr}
	kN/m ²	cm ⁴	m ⁴				cm ⁴	m ⁴	m		kN/m ²	KNm
0,71	210000000	3670	0,00004	0,50	0,50	0	5873	0,00006	6,60	0,3	80769230,77	409837392476,31

Di conseguenza λ_{LT} vale:

Tab.175 Snellezza adimensionale della sezione.

β_w	W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	M_{cr}	λ_{LT}
	m ³	KN/m ²		KNm	
1,00	0,0005	275000,00	1,05	409837392476,31	0,00002

con $\beta_w=1$ per profili di classe 1.

Definiti tutti questi parametri è possibile ricavare Φ_{LT} e χ_{LT} :

Tab.176 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.

λ_{LT}	α_{LT}	Φ_{LT}	χ_{LT}
0,000018	0,21	0,48	1,04

Poiché il limite superiore di χ_{LT} è 1, per il calcolo di $M_{c,Rd}$ verrà considerato $\chi_{LT}=1$.

Di seguito viene riportato $M_{c,Rd}$ è messo a confronto con M_{Ed} , la sezione risulta verificata.

Tab.177 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.

W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	χ_{LT}	M_{rd}	M_{ed}	M_{rd}/M_{ed}
m ³	KN/m ²			kNm	kNm	
0,0005	275000	1,05	1,0	129,38	17,92	7,22
≥1 VERIFICATO						

7.7.2.6 DEFORMABILITA'

La trave di bordo con lunghezza maggiore è stata infine verificata per quanto riguarda i limiti di deformabilità riferendosi alla *NTC*, § 4.2.4.2.1. Essa è maggiormente critica sia per la presenza di carichi maggiori, che per la lunghezza.

Come precedentemente detto la freccia massima per questo schema statico è quella in mezzera e vale $f = \frac{P \cdot L^4}{384EI}$. Il carico distribuito applicato si ricava come

esplicitato nel Paragrafo 7.7.2.1. A questo viene aggiunto il peso proprio della trave. Viene riportato il valore del carico distribuito utilizzato per le verifiche successive sia nel caso dei soli carichi variabili, che dei carichi globali.

Tab.178 Carichi totali agenti.

P_{dist}	P_{G1}	P_{TOT}
KN/m	kN/m	kN/m
21,17	0,621	21,79

Q_{dist}	P_{G1}	Q_{TOT}
KN/m	m	kN/m
10,56	0	10,56

Considerando come valori limite, indicati da normativa, quelli già citati nel cap, la verifica risulta soddisfatta:

Tab.179 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.

P	E	I	δ_{max}	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	m ⁴	m	m	m
21,79	210000000	0,00004	0,014	6,6	0,026
Q	E	I	δ_2	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	m ⁴	m	m	m
10,56	210000000	0,00004	0,007	6,6	0,022

7.7.3 TRAVE DI BORDO PIANO 4

In questa parte vengono trattate alcune verifiche per quanto riguarda la trave di bordo riportata in figura:

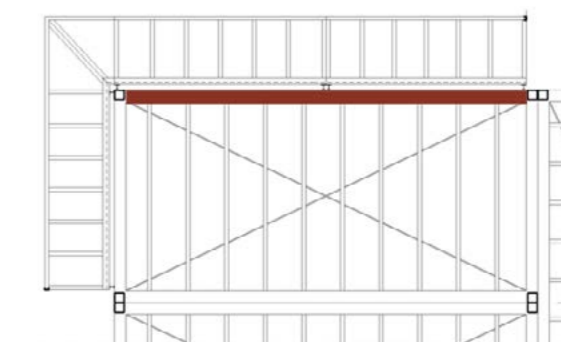


Fig.268 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

Essa, infatti, ha una sezione maggiore rispetto alle altre travi del container poiché risulta sollecitata non solo a flessione ma anche a torsione, poiché su di esse grava un elemento a sbalzo. Poiché è un caso isolato all'interno dell'edificio, non è stato ritenuto necessario assimilare i profili di tutte le travi degli altri moduli a questa, per evitare di sovradimensionare e sovraccaricare ulteriormente la struttura.

La sezione verificata è un tubolare quadrato di dimensioni 200x200x16 mm e inerzia $I=6377 \text{ cm}^4$

7.7.3.1 VERIFICA A TAGLIO

Come già esposto nel Paragrafo 7.7.2.2 secondo tale norma, la verifica è soddisfatta se è rispettata la seguente disequaglianza: $\frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 1$

In generale la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ in assenza di torsione vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_{yk}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

A_v è l'area resistente a taglio, che, nel caso di profili rettangolari cavi di spessore uniforme con carico parallelo all'altezza del profilo, vale: $A_v = \frac{A \cdot h}{b+h}$

In questo caso quindi:

Tab.180 Taglio resistente.

f_{yk}	A	A_v	γ_{M0}	$V_{c,Rd}$
kN/m ²	m ²	m ²		kN
275000	0,012	0,006	1,05	869,46

Poiché la trave in esame, come già detto è soggetta a torsione, la formula precedente deve essere corretta nel modo seguente:

$$V_{c,Rd,red} = \left[1 - \frac{\tau_{ed}}{f_{yk} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})} \right] \cdot V_{c,Rd}$$

E la condizione di verifica che il profilo deve soddisfare risulta: $\frac{V_{c,Rd,red}}{V_{Ed}} \geq 1$

Per calcolare la τ_{ed} si utilizza la formula del caso della torsione sui profili sottili, quindi $\tau_{ed} = \frac{T_{ed}}{2 \cdot \Omega \cdot t}$

T_{ed} risulta lo stesso usato nel Paragrafo 7.7.2.2 e risulta:

Tab.181 Sforzo tangenziale interno al profilo.

T_{ed}	Ω	t	τ_{ed}
kNm	m ²	m	kN/m ²
2,3	0,0034	0,016	2122,96

Da tale valore è possibile ricavare $V_{c,Rd,red}$:

Tab.182 Taglio resistente.

f_{yk}	γ_{M0}	$V_{c,Rd}$	τ_{ed}	$V_{c,Rd,red}$
kN/m ²		kN	kN/m ²	kN
275000	1,05	869,46	2122,96	857,25

Per il calcolo del taglio agente sulla sezione si utilizza lo schema statico incastro-incastro con carico distribuito allo SLU, dove il taglio massimo è agli estremi e vale: $V_{Ed} = \frac{P \cdot L}{2}$

Il carico distribuito viene calcolato come spiegato nel precedentemente a cui viene aggiunto il carico distribuito portato dai profili che compongono lo sbalzo.

Tab.183 Carichi agenti totali.

P _{SLU}	P _{SBALZO}	P _{TOT}
kN/m	kN/m	kN/m
32,7	20,01	52,86

Si ottengono quindi i valori di taglio agente:

Tab.184 Taglio agente.

P _{TOT}	LUCE	V_{ed}
kN/m	m	kN
52,86	6,6	174,42

Confrontando il taglio agente con il taglio resistente si ottengono valori maggiori di 1, la verifica risulta quindi soddisfatta:

Tab.185 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.

$V_{c,Rd,red}$	V_{ed}	$V_{c,Rd,red} / V_{ed}$		
kN	kN		≥ 1	VERIFICATO
857,25	174,42	4,91		

7.7.3.2 VERIFICA ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

Anche in questo caso è stato effettuato un confronto tra gli sforzi interni al profilo dovuti a taglio e torsione e lo sforzo massimo ammissibile per il profilo. Il procedimento utilizzato è quello descritto nel Paragrafo 7.7.2.3.

La verifica sarà soddisfatta se: $\tau_{ed} \leq 0,8 \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$

$\tau_{ed,tors} = 2122,96 \text{ kN/m}^2$ è costante sulla sezione.

Anche qui il contributo causato dal taglio è ricavabile tramite la formula di Jurawsky $\tau_{ed,taglio} = \frac{V_{ed} \cdot S}{2It}$

Lo sforzo di taglio massimo è quindi:

Tab.186 Sforzo tangenziale dovuto al taglio.

V_{ed}	t	I_y	S	$\tau_{ed,taglio}$
kN	m	m ⁴	m ³	kN/m ²
174,42	0,016	0,00006	0,0005	41028,14

Considerando $\tau_{ed,tot} = \tau_{ed,taglio} + \tau_{ed,torsione}$ è possibile effettuare il confronto di sopra esplicitato, dimostrando che la verifica risulta soddisfatta:

Tab.187 sforzo tangenziale totale.

f_{yb}	γ_{M0}	f_{yd}	$0,8 f_{yd} / \sqrt{3}$	$\tau_{ed,tot}$		
kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	\geq	VERIFICATO
275000,00	1,05	261904,76	120968,63	43151,10		

7.7.3.3 FLESSIONE

Per quanto riguarda la verifica a flessione del profilo ci si riferisce al procedimento effettuato nel Paragrafo 7.7.2.4

Poichè il taglio agente non supera la metà del taglio resistente non va ridotto il momento resistente a flessione.

I valori confrontati sono:

Tab.188 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.

$0,5V_{crd,red}$	V_{ed}
kN	kN
428,62	≥ 174,42

Per la verifica si usa quindi la disequaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$.

La formula per il calcolo di $M_{c,Rd}$ però dipende dalla classe del profilo in esame.

Seguendo la *Tab. 4.2.1* precedentemente riportata sia per la piattabanda superiore che laterale si ottiene che il profilo è in classe 1.

Dato che, l'acciaio ha un valore $f_{yk}=275$ N/mm², $\epsilon=0,92$.

Facendo gli opportuni confronti risulta:

Tab.189 Classificazione della sezione.

c	t	c/t	C1	
mm	mm		FLESSIONE	COMPRESSIONE
168	16	10,5	66,24	30,36

Si utilizza perciò, per il calcolo del $M_{c,Rd}$, la formula adatta alle sezioni di classe 1 e

$$2: M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Tab.190 Momento resistente.

W_{pl}	f_{yk}	γ_{M0}	M_{rd}
m ³	kN/m ²		kNm
0,000785	275000	1,05	205,6

Per quanto riguarda il momento agente, si ricava considerando una trave incastro-incastro con carico distribuito. Il momento massimo è quello agli estremi e vale $M_{Ed} = \frac{p \cdot L^2}{12}$. Il carico distribuito usato è quello calcolato nel Paragrafo 7.7.2.4.

Si ottiene quindi:

Tab.191 Momento agente.

P	L	M_{ed}
kN/m	m	kNm
52,86	6,6	191,87

Mettendo a confronto momento agente e momento resistente, si dimostra quindi che il profilo scelto risulta verificato.

Tab.192 Confronto tra momento agente e momento resistente.

M_{rd}	M_{ed}	M_{rd}/M_{ed}	
kNm	kNm		
205,6	191,87	1,07	≥1 VERIFICATO

7.7.3.4 INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

Per la verifica ad instabilità flesso-torsionale si è fatto riferimento al procedimento del Paragrafo 7.7.2.5. Come con la flessione semplice, la verifica è soddisfatta se è valida la seguente disequaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$

Dove il momento resistente viene calcolato come: $M_{c,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M1}}$

$W_{pl} = 785$ cm³ è il modulo di resistenza plastica per la sezione considerata;

$\gamma_{M1} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;

$f_{yk} = 275$ N/mm² è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento;

$$\chi_{LT} \text{ si calcola tramite: } \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT}^2 + [\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2]^{0,5}}$$

Dove:

$$\Phi_{LT} \text{ è definito dalla formula: } \Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2 \right];$$

$$\lambda_{LT} \text{ è la snellezza adimensionale ed è definita da } \lambda_{LT} = \left[\frac{\beta_w W_{pl} f_y}{M_{cr}} \right]$$

Per ricavare Φ_{LT} è necessario il coefficiente di imperfezione per instabilità flesso-torsionale α_{LT} che nel caso in esame, avendo una sezione laminata, vale $\alpha_{LT} = 0,21$.

Per ottenere λ_{LT} è stato ricavato M_{cr} con la formula utilizzata nel Paragrafo 7.7.2.5.

M_{cr} è quindi:

Tab.193 Momento critico.

C_1	E	I_z	I_z	k	k_w	I_w	I_t	I_t	L	v	G	M_{cr}
	kN/m ²	cm ⁴	m ⁴				cm ⁴	m ⁴	m		kN/m ²	kNm
0,71	210000000	6377	0,00006	0,50	0,50	0	1034	0,00001	6,60	0,3	80769230,77	716831406962,17

Di conseguenza λ_{LT} vale:

Tab.194 Snellezza adimensionale della sezione.

β_w	W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	M_{cr}	λ_{LT}
	m ³	KN/m ²		KNm	
1,00	0,0008	275000,00	1,05	716831406962,17	0,00002

con $\beta_w=1$ per profili di classe 1.

Definiti tutti questi parametri è possibile ricavare Φ_{LT} e χ_{LT} :

Tab.195 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.

λ_{LT}	α_{LT}	Φ_{LT}	χ_{LT}
0,000017	0,21	0,48	1,04

Poiché il limite superiore di χ_{LT} è 1, per il calcolo di $M_{c,Rd}$ verrà considerato $\chi_{LT}=1$.

Di seguito viene riportata $M_{c,Rd}$ e messo a confronto con M_{Ed} . La sezione risulta verificata.

Tab.196 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.

W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	χ_{LT}	M_{rd}	M_{ed}	M_{rd}/M_{ed}
m ³	KN/m ²			kNm	kNm	
0,0007	275000	1,05	1,0	205,6	191,87	1,07
						≥ 1 VERIFICATO

7.7.3.5 DEFORMABILITA'

Come nel Paragrafo 7.7.2.6 è stata effettuata la verifica di deformabilità.

Come precedentemente detto la freccia massima per questo schema statico è quella in mezzeria e vale $f = \frac{p \cdot L^4}{384EI}$.

Il carico distribuito applicato si ricava come esplicitato nel Paragrafo 7.7.2.1. A questo viene aggiunto il peso proprio della trave.

Tab.197 Carico agente.

P_{dist}	Q_{dist}
KN/m	KN/m
35,7	14,9

Considerando come valori limite, indicati da normativa, quelli già citati nei capitoli precedenti, la verifica risulta soddisfatta:

Tab.198 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.

P	E	I	δ_{max}	L	δ_{lim}
kN/m	KN/m	m ⁴	m	m	m
35,7	210000000	0,00007	0,013	6,6	0,026
Q	E	I	δ_2	L	δ_{lim}
kN/m	KN/m	m ⁴	m	m	m
14,9	210000000	0,00007	0,006	6,6	0,022

7.7.4 TUBOLARE SUPERIORE

Si trattano alcune verifiche per quanto riguarda la trave di sostegno della copertura del singolo modulo riportata in figura:

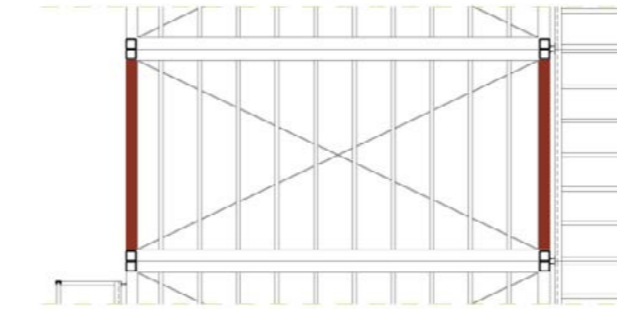


Fig.269 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 51].

Tale profilo porta solo se stesso e pochi strati della stratigrafia (lamiera grecata, controsoffitto e materassino acustico). Inoltre, in alcuni casi esso deve sostenere i carichi provenienti dalla copertura degli elementi a sbalzo.

Si parte dalla sezione consigliata dal produttore, ovvero un tubolare quadrato di dimensioni 80x80x3 mm e inerzia $I=89,8 \text{ cm}^4$. Essa risulta verificata; l'unico caso che potrebbe risultare problematico è la trave di bordo superiore del lato lungo del modulo d'angolo al quarto piano. Essa risulta sollecitata anche dai carichi provenienti dall'elemento a sbalzo ma in questo lo stesso tubolare è saldato con la trave tipo dei moduli (180x180x1,2 mm) componendo un'area tale da garantire la resistenza.

7.7.4.1 VERIFICA A TAGLIO

Riprendendo il Paragrafo 7.7.2.2, la verifica vale se è rispettata: $\frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 1$.

Poiché il profilo in esame è ancora un tubolare, è l'area A_v resistente a taglio, che, vale di nuovo: $A_v = \frac{A \cdot h}{b+h}$.

Si considera per la verifica il profilo sul lato corto del modulo base poiché sollecitato a torsione.

In questo caso quindi:

Tab.199 Taglio resistente.

f_{yk}	A	A_v	γ_{M0}	$V_{c,Rd}$
kN/m ²	m ²	m ²		kN
275000,00	0,00091	0,000	1,05	69,10

Poiché la trave in esame, come già detto è soggetta a torsione, la formula precedente deve essere corretta, e la condizione di verifica che il profilo deve soddisfare risulta: $\frac{V_{c,Rd,red}}{V_{Ed}} \geq 1$. Per calcolare la τ_{ed} si utilizza la formula del caso della torsione sui profili sottili, quindi $\tau_{ed} = \frac{T_{ed}}{2 \cdot \Omega \cdot t}$. T_{ed} è lo stesso usato nel Paragrafo 7.7.2.2

e risulta:

Tab.200 Sforzo tangenziale del profilo.

T_{ed}	Ω	t	τ_{ed}
kNm	m ²	m	kN/m ²
1,80	0,005476	0,003	54784,51

Da tale valore è possibile ricavare $V_{c,Rd}$:

Tab.201 Taglio resistente.

f_{yk}	γ_{M0}	$V_{c,rd}$	τ_{ed}	$V_{c,Rd,red}$
kN/m ²		kN	kN/m ²	kN
275000	1,05	69,10	54784,51	44,07

Per il calcolo del taglio agente sulla sezione si utilizza lo schema statico incastro-incastro con carico distribuito allo SLU, dove il taglio massimo è agli estremi e vale: $V_{Ed} = \frac{P \cdot L}{2}$.

Il carico distribuito viene calcolato come spiegato nel Paragrafo 7.4 a cui viene aggiunto il carico distribuito portato dai profili che compongono lo sbalzo.

Tab.202 Carichi.

P_{SLU}	P_{SBALZO}	P_{TOT}
kN/m	kN/m	kN/m
0,09	5,45	5,55

Si ottengono quindi i valori di taglio agente:

Tab.203 Taglio agente.

P_{TOT}	LUCE	V_{ed}
kN/m	m	kN
5,55	3,3	32,28

Confrontando il taglio agente con il taglio resistente si ottengono valori maggiori di 1, la verifica risulta quindi soddisfatta.

Tab.204 Confronto tra il taglio agente ed il taglio resistente.

$V_{c,Rd,red}$	V_{ed}	$V_{c,Rd,red} / V_{ed}$	
kN	kN		
44,07	32,18	1,37	≥1 VERIFICATO

7.7.4.2 VERIFICA ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

Anche in questo caso è stato effettuato un confronto tra gli sforzi interni al profilo dovuti a taglio e torsione e lo sforzo massimo ammissibile per il profilo. La verifica sarà soddisfatta se: $\tau_{ed} \leq 0,8 \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$.

Lo sforzo di torsione costante sulla sezione è: $\tau_{ed,tors} = 116596,19$ kN/m².

Anche qui il contributo causato dal taglio è ricavabile tramite la formula di Jurawsky $\tau_{ed,taglio} = \frac{V_{ed} \cdot S}{2I}$. Lo sforzo di taglio massimo è quindi:

Tab.205 Tensione tangenziale dovuta al taglio.

TRAVE	V_{ed}	t	I_v	S	$\tau_{ed,taglio}$
	kN	m	m ⁴	m ³	kN/m ²
LATO CORTO	23,13	0,003	0,000001	0,00001	61811,68

Considerando $\tau_{ed,tot} = \tau_{ed,taglio} + \tau_{ed,torsione}$ si può dimostrare che la verifica è soddisfatta:

Tab.206 Tensione tangenziale totale.

f_{yb}	γ_{M0}	f_{yd}	$0,8f_{yd}/\sqrt{3}$	$\tau_{ed,tot}$	
kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	
275000,00	1,05	261904,76	120968,63	≥ 116596,19	VERIFICATO

7.7.4.3 FLESSIONE

Per quanto riguarda la verifica a flessione del profilo ci si riferisce al procedimento effettuato nel Paragrafo 7.7.2.4. Anche in questo caso si verifica lo stesso profilo sopra riportato che risulta il più sfavorito. Poiché il taglio agente supera la metà del taglio resistente, è necessario ridurre il momento resistente a flessione.

Tab.207 Confronto tra il taglio agente ed il taglio resistente.

$0,5V_{c,Rd,red}$	V_{ed}
kN	kN
22,03	≥ 32,28

Nel caso del lato corto è quindi necessario ridurre il valore f_{yk} come di seguito:

$f_{yk} [1-\rho]$. Dove $\rho = \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} \right]$. Per la verifica si usa quindi la diseuguaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$

La formula per il calcolo di $M_{c,Rd}$ però dipende dalla classe del profilo in esame. Il profilo è in classe 1 considerando che, l'acciaio ha un valore $f_{yk} = 275$ N/mm² e di conseguenza $\epsilon = 0,92$.

Tab.208 Classificazione della sezione.

c	t	c/t	C1	
mm	mm		FLESSIONE	COMPRESSIONE
74	3	24,67	66,24	30,36

Si utilizza perciò, per il calcolo del $M_{c,Rd}$ la formula adatta alle sezioni di classe 1 e 2: $M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$.

Tab.209 Momento resistente.

W_{pl}	f_{yk}	γ_{M0}	M_{rd}
m ³	kN/m ²		kNm
0,00003	215503,93	1,05	5,40

Anche in questo caso il momento agente è quello che si ricava considerando una trave incastro-incastro con carico distribuito, come nel Paragrafo 7.7.2.2.

Tab.210 Momento agente.

P	L	M_{ed}
kN/m	m	kNm
5,55	3,3	5,03

Mettendo a confronto momento agente e momento resistente, si dimostra quindi che il profilo scelto risulta verificato anche in questo caso.

Tab.211 Confronto tra il momento agente ed il momento resistente.

M_{rd}	M_{ed}	M_{rd}/M_{ed}	
kNm	kNm		
5,4	5,03	1,07	≥1 VERIFICATO

7.7.4.4 INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

Per la verifica ad instabilità flessio-torsionale si è fatto riferimento al procedimento del Paragrafo 7.7.2.5. Come con la flessione semplice, la verifica è soddisfatta se è valida la seguente disequaglianza: $\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 1$ Dove però il momento resistente viene calcolato come: $M_{c,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M1}}$

$W_{pl} = 785 \text{ cm}^3$ è il modulo di resistenza plastica per la sezione considerata;

$\gamma_{M1} = 1,05$ è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità;

$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ è il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento;

χ_{LT} si calcola tramite: $\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + [\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2]^{0,5}}$

Dove:

Φ_{LT} è definito dalla formula $\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$;

λ_{LT} è la snellezza adimensionale ed è definita da $\lambda_{LT} = \left[\frac{\beta_w W_{pl} f_y}{M_{cr}} \right]$.

Per ricavare Φ_{LT} è necessario il coefficiente di imperfezione per instabilità flessio-torsionale α_{LT} che nel caso in esame, avendo una sezione laminata, vale $\alpha_{LT} = 0,21$.

Per ottenere λ_{LT} è stato ricavato M_{cr} con la formula utilizzata nel cap xx. Il valore dei termini inseriti rimane

M_{cr} è quindi:

Tab.212 Momento critico.

C_1	E	I_z	k	k_w	I_w	I_t	L	v	G	M_{cr}
	kN/m ²	m ⁴				m ⁴	m		kN/m ²	KNm
0,71	210000000	0,000001	0,5	0,5	0	0,000001	3,3	0,3	80769231	19796149687,1

Di conseguenza λ_{LT} vale:

Tab.213 Snellezza adimensionale della sezione.

β_w	W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	M_{cr}	λ_{LT}
	m ³	KN/m ²		KNm	
1,00	0,00003	275000	1,05	19796149687,18	0,000019

con $\beta_w = 1$ per profili di classe 1.

Definiti tutti questi parametri è possibile ricavare Φ_{LT} e χ_{LT} :

Tab.214 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.

λ_{LT}	α_{LT}	Φ_{LT}	χ_{LT}
0,000019	0,21	0,48	1,04

Poiché il limite superiore di χ_{LT} è 1, per il calcolo di $M_{c,Rd}$ verrà considerato $\chi_{LT} = 1$.

Di seguito viene riportato $M_{c,Rd}$ è messo a confronto con M_{Ed} . La sezione risulta verificata.

Tab.215 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.

W_{pl}	f_{yb}	γ_{M1}	χ_{LT}	M_{rd}	M_{ed}	M_{rd}/M_{ed}
m ³	KN/m ²			kNm	kNm	
0,00003	275000	1,05	1	6,89	5,03	1,37
						≥ 1 VERIFICATO

7.7.4.5 DEFORMABILITA'

Come nel Paragrafo 7.7.2.6 è stata effettuata la verifica di deformabilità.

Come precedentemente detto la freccia massima per questo schema statico è quella in mezzeria e vale $f = \frac{P \cdot L^4}{384EI}$.

Il carico distribuito applicato si ricava come già esplicitato. A questo viene aggiunto il peso proprio della trave.

Tab.216 Carico agente.

P_{dist}	Q_{dist}
KN/m	KN/m
3,71	2,55

Considerando come valori limite, indicati da normativa, quelli già citati, la verifica risulta soddisfatta:

Tab.217 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.

P	E	I	δ_{max}	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	m ⁴	m	m	m
3,71	210000000	0,000000898	0,06	3,3	0,013
Q	E	I	δ_2	L	δ_{lim}
kN/m	kN/m	m ⁴	m	m	m
2,55	210000000	0,000000898	0,004	3,3	0,011

7.7.5 PILASTRO DI BORDO

A seguito del dimensionamento dei profili del solaio e delle travi di bordo è possibile definire i pesi gravanti sui pilastri. Il pilastro del singolo container è stato dimensionato e verificato seguendo la *NTC 2008 e l'EC3*, considerando la condizione più sfavorevole, ossia analizzando un pilastro di un container posto al livello +1. Di seguito verranno effettuate le verifiche di resistenza allo SLE e di instabilità allo SLU sui pilastri che compongono il telaio dei moduli prefabbricati, considerando che, nella situazione peggiore, i pilastri oltre a sostenere il carico del singolo modulo devono reggere anche il carico proveniente dai piani superiori.

Tra un container e l'altro i carichi verticali vengono trasferiti per mezzo di blocchi d'angolo chiamati "corner casting". Lo studio specifico di tali elementi non verrà trattato in questa sede e si considerano dunque verificati, in vista del comprovato utilizzo dei moduli prefabbricati.

La geometria dei profili e le caratteristiche dei materiali di partenza sono quelli forniti dalle schede tecniche dei moduli prefabbricati in acciaio tipo "Edilsider". Dunque si è effettuata una verifica degli elementi costituenti i profili di base. Nei casi in cui questi elementi non sono risultati adeguati si è proceduto migliorando le caratteristiche di resistenza delle sezioni e le prestazioni dei materiali.

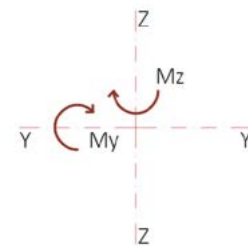


Fig.270 Convenzione per il calcolo del pilastro di bordo.

7.7.5.1 ANALISI DEI CARICHI

Lo schema statico del pilastro di bordo prevede lo scarico di 2 travi di lunghezza 3 m nella direzione di inerzia y-y e 2 travi di bordo di lunghezza 6,2 m in direzione z-z. Considerando la situazione d'angolo il pilastro risulta quindi sollecitato a presso-flessione retta in entrambe le direzioni y-y e z-z. (immagine pianta). Il pilastro di bordo è dunque soggetto sia a compressione che a doppia flessione nelle due direzioni. Tali sollecitazioni, non verificabili separatamente, sono dovute al fatto che la trave, ruotando agli estremi, tende a portare con sé il pilastro, che risente così di un momento flettente di congruenza con la trave stessa. Il predimensionamento del pilastro viene effettuato preliminarmente senza tenere conto della componente flessionale, considerando il pilastro come fosse semplicemente compresso. L'analisi dei carichi, funzionale al predimensionamento della sezione, in base alla sola azione di compressione, viene effettuata considerando le reazioni vincolari delle travi calcolate all'SLU.

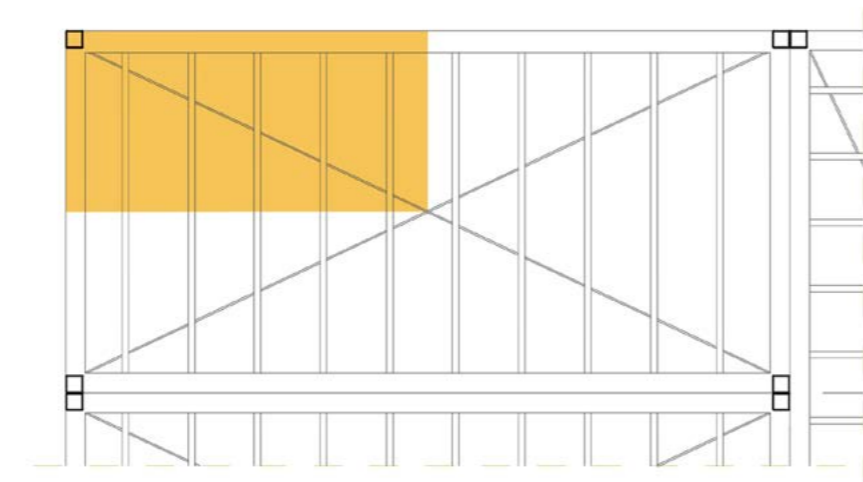


Fig.271 Area di influenza considerata nel calcolo.

Tab.218 Azione assiale agente per livello.

	N_{ed} kN	N_{ed} kN
LIV+5	143,2	143200
LIV+4	286,4	286400
LIV+3	429,6	429600
LIV+2	572,8	572800
TOT.	1432	1432000

Dunque lo sforzo di compressione agente (senza il peso proprio del pilastro) equivale a $N_{ed} = 1432$ kN. La scelta del profilo utile a sopportare il carico è stata effettuata utilizzando un metodo iterativo.

7.7.5.2 PREDIMENSIONAMENTO

Inizialmente al fine di determinare il profilo adeguato si procede con un predimensionamento del pilastro in base all'azione di compressione agente N_{ed} .

Partendo da un acciaio tipo S235JR, fornito da scheda tecnica, si è scelto di incrementare le prestazioni del materiale utilizzando un acciaio tipo S355JR per questioni costruttive. Indicando con:

f_{yk} il valore nominale della tensione caratteristica di snervamento, riportata nella *Tabella 11.3.IX del §11.3.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/1/2008*;

γ_{M0} il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature a stabilità re-peribile nella *Tabella 4.2.V del §4.2.4.1 delle Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/1/2008* per le sezioni di classe 1-2.

In base alla seguente formula il valore di f_{ydr} tensione di snervamento di progetto, risulta essere pari a 338,1 N/mm²:

$$f_{ydr} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Tab.219 Tensione di snervamento di progetto.

f_{yk} N/mm ²	γ_{M0}	f_{ydr} N/mm ²
355	1,05	338,1

Si valuta approssimativamente l'area iniziale tramite la formula: $A = \frac{N_{ed}}{f_{ydr}}$.

Tab.220 Area di predimensionamento.

N_{ed} N	f_{ydr} N/mm ²	A mm ²	A m ²
1432000	338,1	4235,5	0,004

L'esito di queste verifiche effettuate sui profili forniti dal produttore è stato negativo. Considerato ciò si è deciso di rinforzare ogni singolo pilastro per poter raggiungere un adeguato livello di sicurezza.

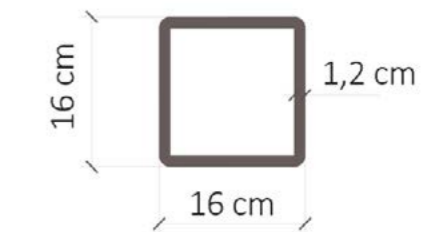


Fig.272 Sezione del pilastro con dimensioni.

Occorre modificare il profilo di partenza al fine di ottenere un'area A di valore pari o maggiore a quella appena calcolata. Operando in maniera iterativa tale procedimento risulta verificato considerando uno spessore della sezione di base pari a 12 mm e ottenendo dunque un'area pari a A= 6950 mm². Per motivi costruttivi si è reso necessario mantenere le dimensioni della sezione entro i limiti di 160x160 mm.

Nel seguito viene riportata la verifica del profilo scelto. In fase di predimensionamento si definisce lo sforzo agente allo SLU come rapporto tra la forza assiale agente N_{ed} e l'area del pilastro, che deve essere inferiore alla resistenza f_{yd}. Questa condizione, se rispettata, verifica che l'elemento sia in grado di resistere ai carichi gravanti su di essa.

Conoscendo il valore del peso specifico dell'acciaio pari a 77,11 kN/m³ e calcolando l'altezza del pilastro pari a 3,34 m è stato stimato un volume di acciaio intorno ai 0,02 m³.

Tab.221 Peso del pilastro.

A	H	V	ρ _{acciaio}	N _p	N _p
m ²	m	m ³	kN/m ³	kN	N
0,007	3,34	0,03	77,11	1,8	1790

Il peso proprio del pilastro risulta corrispondente a 1,8 kN ed è stato sommato alle azioni assiali di piano.

Tab.222 Carico agente.

	N _{ed}	N _{ed}
	kN	N
LIV +5	144,99	144989,95

LIV +4	288,19	288189,95
LIV +3	431,39	431389,95
LIV +2	574,59	574589,95
TOT.	1439,16	1439159,82

In base alla seguente formula è possibile verificare effettivamente l'area del profilo considerato.

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f_{yd}$$

Tab.223 Verifica dell'area.

N _{ed} +N _p	σ	f _{yd}
N	N/mm ²	N/mm ²
1439159,818	207,073	338,1

Una volta definite le caratteristiche geometriche della sezione e il tipo di acciaio impiegato, occorre individuare la classe del profilo.

7.7.5.3 CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Nel cap xx è stata descritta la classificazione delle sezioni proposta dalle NTC al §4.2.3.1. Si fa quindi riferimento alla *Tabella 4.2.1* riportata in Figura XX dello stesso capitolo tratta dalla normativa. Data la geometria, la sezione viene studiata riconducendola ad un profilo cavo quadrato soggetto a flessione e a compressione.

In questo caso, dato che f_{yk} =355 N/mm², ε =0,81, il coefficiente di imperfezione α viene valutato in base alla Tabella 4.2.VI contenuta nel § 4.2.4.1.3 delle NTC già riportata nel Paragrafo 7.6 nelle Figure 251 e 252. Riconducendo il profilo ad un

tubolare cavo quadrato di sezione formata "a caldo" inflessa attorno ad un asse qualsiasi, la curva di instabilità per un acciaio tipo S355 risulta essere la a e quindi si valuta un coefficiente α=0,21.

Il profilo risulta essere in CLASSE 1 in base alla seguente formula: Per α < 0,5

$$\frac{c}{t} < \frac{(36E)}{\alpha}$$

Tab.224 Classificazione della sezione.

c	t	c/t	ε	α <0,5	CLASSE	1
mm	mm				[36E/α]	
136	12	11,33	0,81	0,21	138,86	

SCHEMA STATICO

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti sui pilastri di bordo ai diversi livelli ci si riferisce allo schema statico riportato nell'immagine a lato.

Poiché lo scheletro strutturale dei moduli prefabbricati è costituito da profili che vengono forniti tutti saldati insieme, i vincoli si semplificano con degli incastri. Considerando metà della lunghezza del solaio il vincolo all'estremo della trave si rappresenta con un pattino verticale. La struttura viene risolta con l'utilizzo del software Ftool.

Lo schema statico è stato risolto per la direzione di inerzia y-y considerando una lunghezza del solaio pari a 1,65 m e per la direzione z-z considerando una lunghezza del solaio pari a 3m. L'altezza di ogni piano risulta essere pari a 3,34 m.

A questo punto è stato possibile definire le proprietà della sezione in base alla scheda tecnica, per entrambe le direzioni di sollecitazione flettente (y-y e z-z).

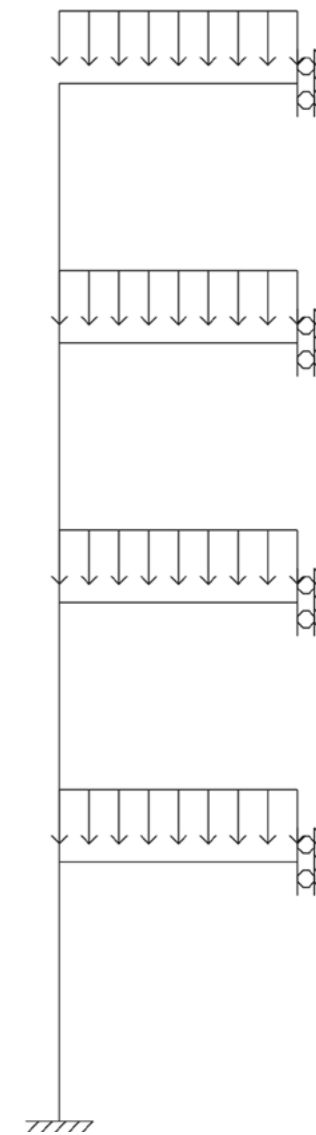


Fig.273 Schema statico considerato per il calcolo del pilastro di bordo.

Tab.225 Proprietà della sezione.

$I_{[y-y]}$	$i_{[y-y]}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$
mm ⁴	mm	mm ³	mm ³
24970000	59,9	382000	312000

$I_{[z-z]}$	$i_{[z-z]}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$
mm ⁴	mm	mm ³	mm ³
24970000	59,9	382000	312000

Lo schema statico utilizzato per la verifica di resistenza della sezione è stato caricato con le reazioni vincolari delle travi di bordo valutate attraverso la combinazione fondamentale allo SLU come si può vedere nella Figura 273. Le azioni interne sono invece rappresentate nelle immagini successive.

Risoluzione schema statico nella direzione di inerzia y-y:

Tab.226 Azioni interne nella direzione di inerzia y-y.

	N	$M_{y(sup)}$	$M_{y(inf)}$	T
	kN	kNm	kNm	kN
LIV +5	36,3	12,1	9,4	6
LIV +4	72,6	7,1	7,5	4
LIV +3	108,9	8,3	8,8	4,8
LIV +2	145,2	6,2	3,1	2,6

Risoluzione schema statico nella direzione di inerzia z-z:

Tab.227 Azioni interne nella direzione di inerzia z-z.

	N	$M_{z(sup)}$	$M_{z(inf)}$	T
	kN	kNm	kNm	kN
LIV +5	106,9	87,7	63,4	42
LIV +4	213,7	43,7	48,1	25,5
LIV +3	320,6	55,6	59,1	31,9
LIV +2	427,4	41,8	21	17,4

Lo schema statico utilizzato per la verifica di instabilità del profilo è stato caricato con le reazioni vincolari delle travi di bordo valutate attraverso la combinazione rara allo SLE. [Rif. Figura 276 e 277]

Risoluzione schema statico nella direzione di inerzia y-y:

Tab.228 Azioni interne nella direzione di inerzia y-y.

	N	$M_{y(sup)}$	$M_{y(inf)}$	T
	kN	kNm	kNm	kN
LIV +5	21,4	7,1	5,5	3,5
LIV +4	42,9	4,2	4,4	2,4
LIV +3	64,3	4,9	5,2	2,6
LIV +2	85,8	3,7	1,8	1,5

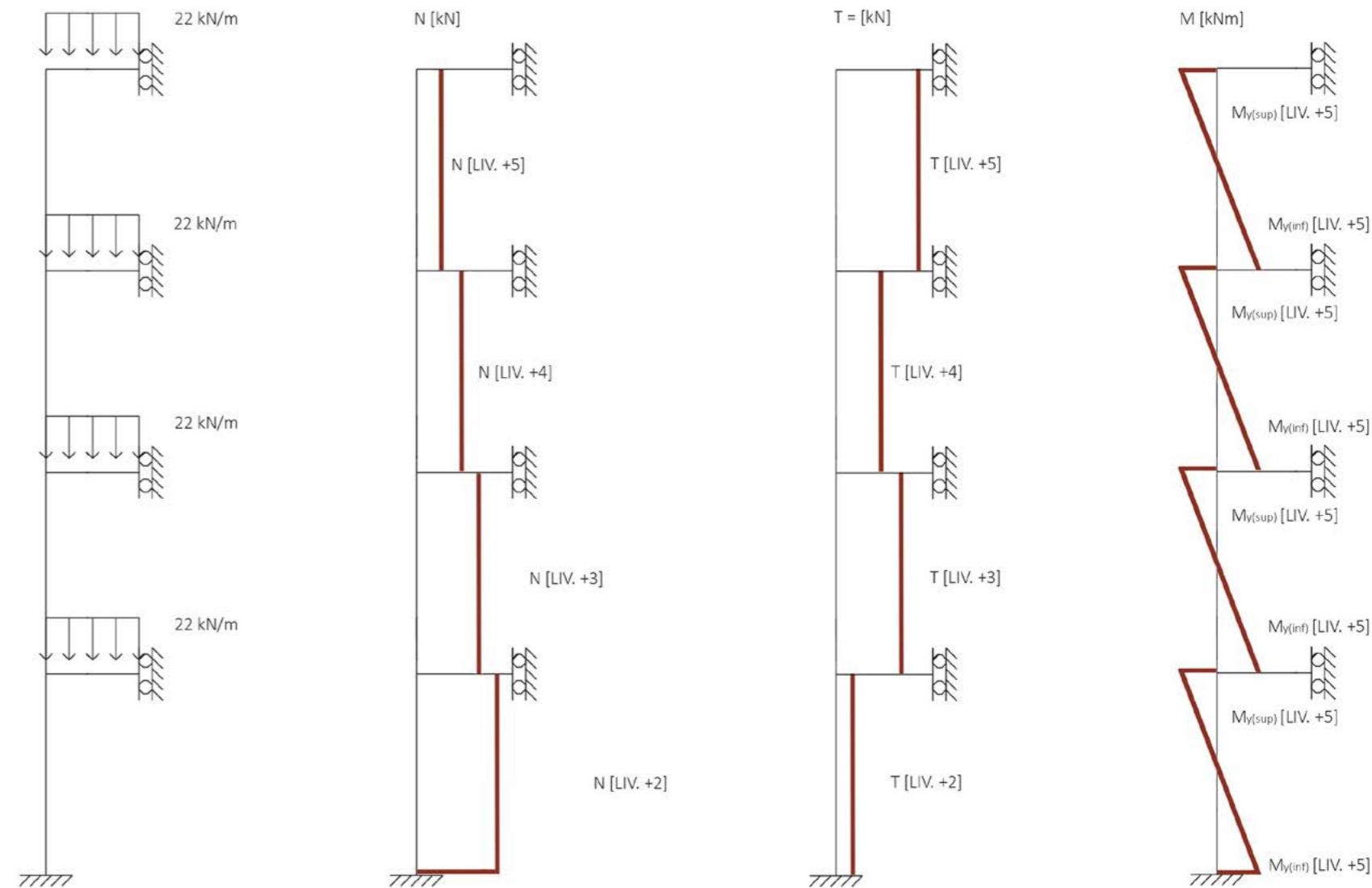


Fig.274 Azioni interne pilastro di bordo SLU (Momento lungo l'asse d'inerzia in Y).

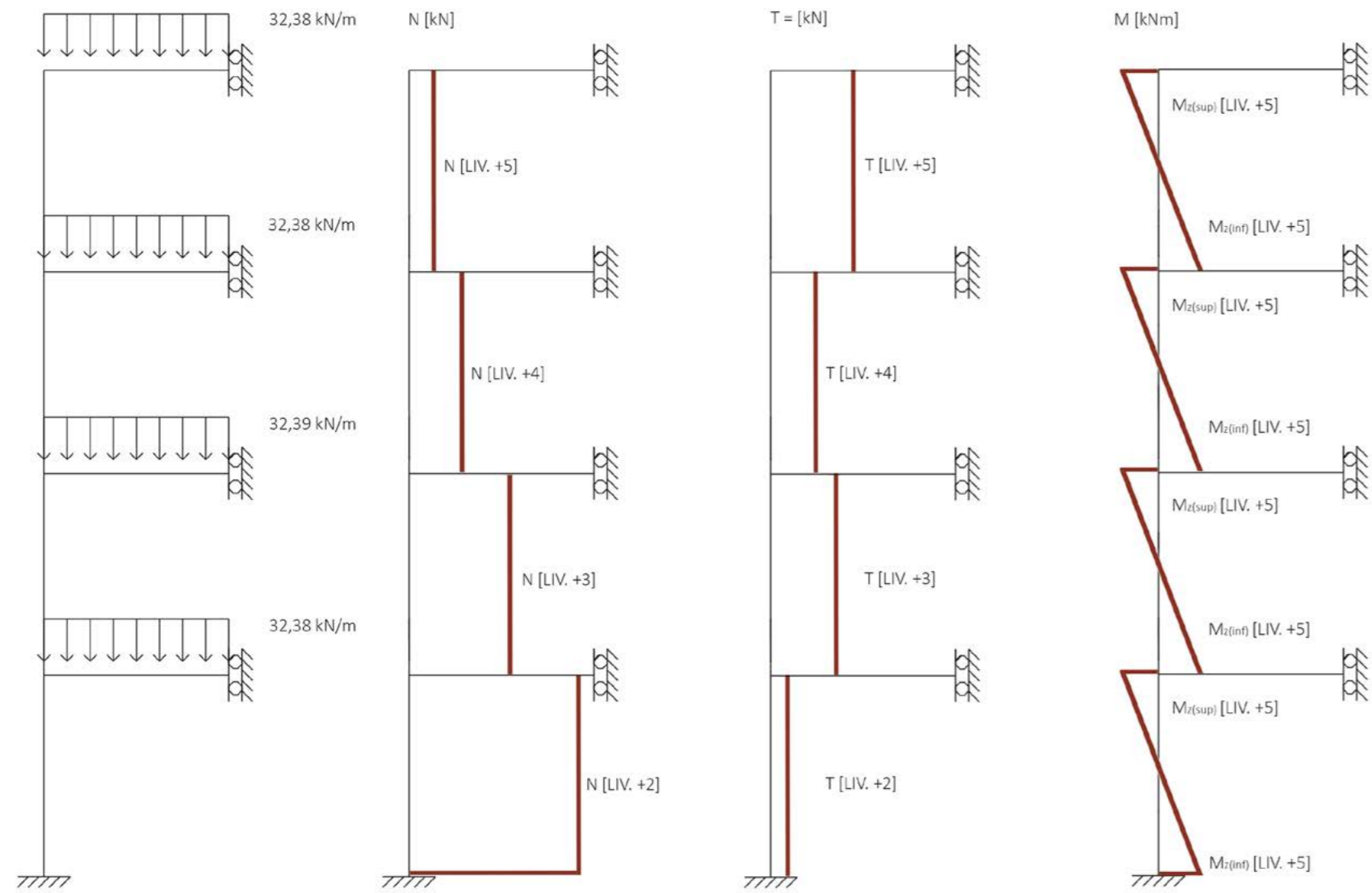


Fig.275 Azioni interne pilastro di bordo SLU (Momento lungo l'asse d'inerzia in Z).

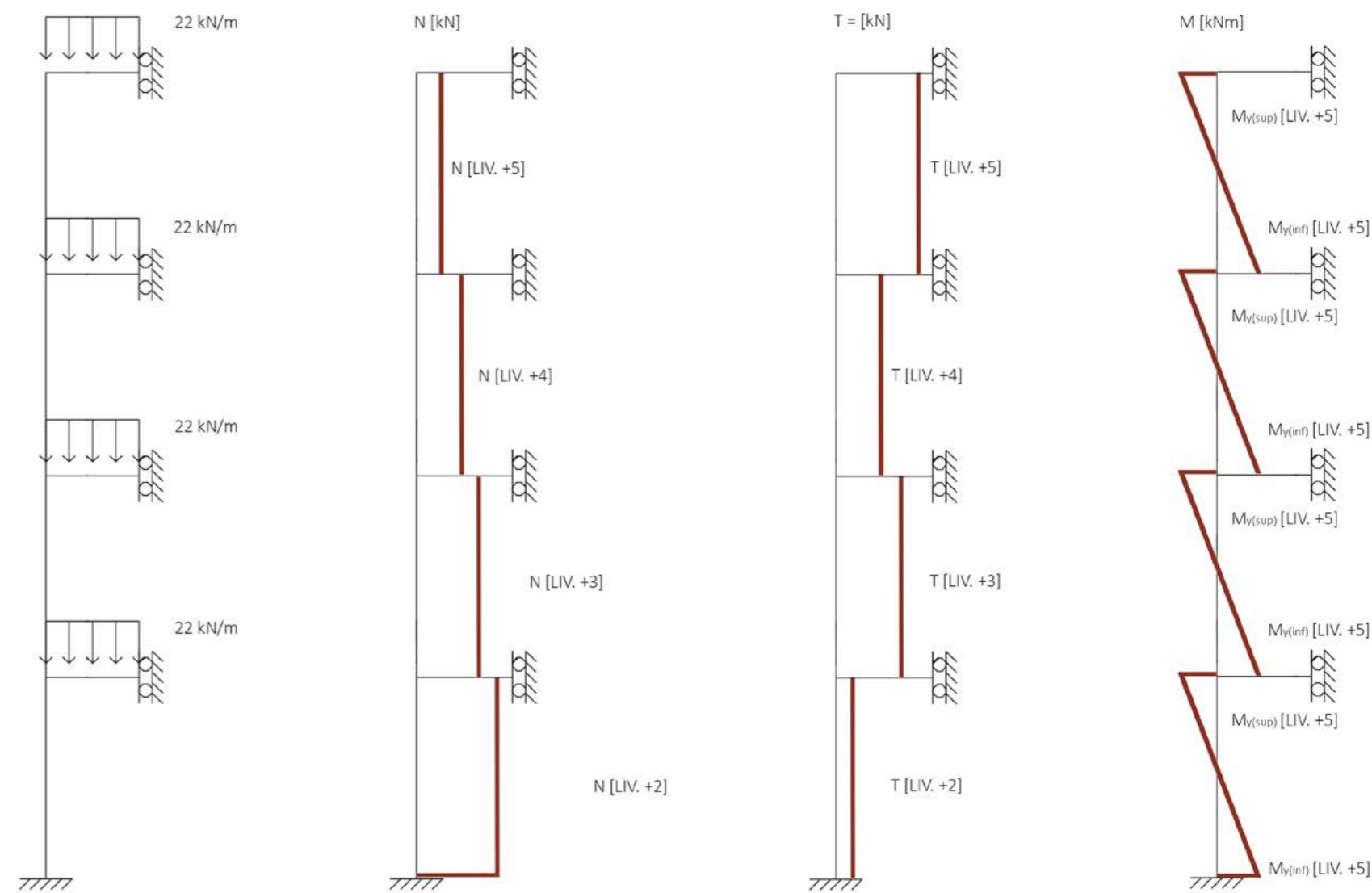


Fig.276 Azioni interne pilastro di bordo SLE (Momento lungo l'asse d'inerzia in Y).

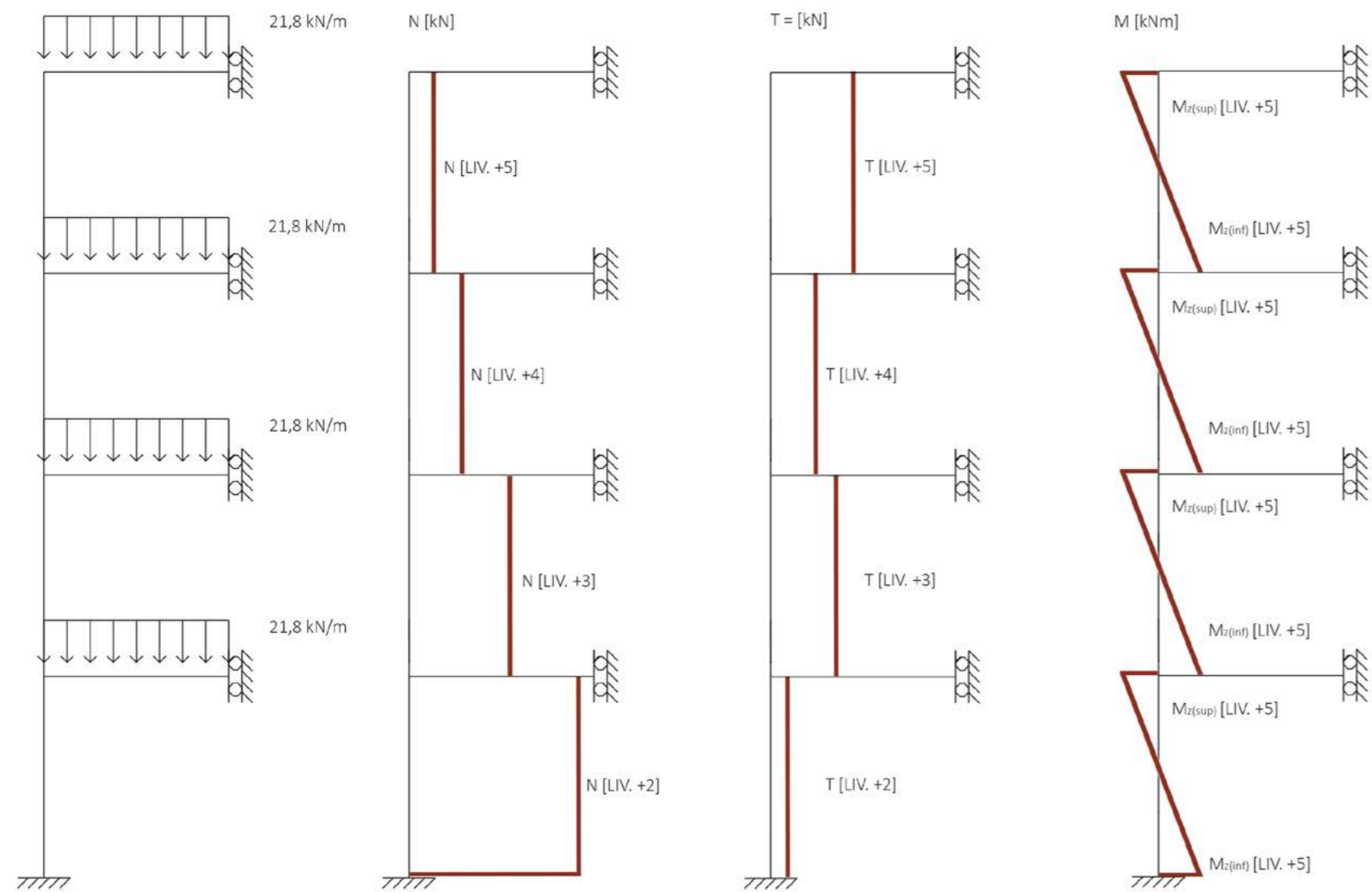


Fig.277 Azioni interne pilastro di bordo SLE (Momento lungo l'asse d'inertza in Z).

Risoluzione schema statico nella direzione di inerzia z-z:

Tab.229 Azioni interne nella direzione di inerzia z-z.

	N kN	$M_{z(sup)}$ kNm	$M_{z(inf)}$ kNm	T kN
LIV +5	71,9	87,7	63,4	28,2
LIV +4	143,8	43,7	48,1	17,2
LIV +3	215,7	55,6	59,1	21,4
LIV +2	287,6	41,8	21	11,7

Dall'andamento dei diagrammi delle azioni interne si evince che non è possibile determinare una combinazione di carico critica in assoluto per momento e azione assiale insieme poiché la compressione massima è presente per il pilastro del livello +1 mentre il valore di momento massimo influenza il pilastro al livello +5. Infatti le sezioni al primo piano hanno una condizione di carico a compressione più gravosa che tende a diminuire il ribaltamento della sezione. Per considerare l'interazione tra momento e azione assiale sono state dunque verificate entrambe le estremità, superiore e inferiore, di ogni pilastro poiché in quei punti il momento flettente risulta avere un massimo.

7.7.5.4 INFLUENZA DEL TAGLIO

In riferimento al §5.4.9.(1),(2),(3) dell' EC3, quando l'azione tagliante supera metà della resistenza a taglio plastica, nella determinazione del momento resistente plastico ridotto deve essere tenuto in debito conto l'effetto sia dell'azione tagliante che della forza assiale.

Se il valore di progetto della forza di taglio V_{ed} non supera il 50% della resistenza a taglio plastica di progetto $V_{pl,Rd}$, non è necessaria alcuna riduzione nelle combinazioni di momento e forza assiale.

In base alla formula (4.2.18) contenuta nel §4.2.4.1.2 delle NTC2008 è stato calcolata la resistenza a taglio plastica di progetto: $V_{pl,Rd} = \frac{(f_{yk} * A_v)}{[3^{(1/3)} * \gamma_{MO}]}$.

Dove A_v è l'area resistente a taglio calcolata riconducendo la sezione ad un profilo scatolare cavo quadrato di sezione 160x160 mm e spessore 12 mm. In riferimento alla (4.2.23) del §4.2.4.1.22 delle NTC2008 per profili rettangolari cavi " profilati a caldo " di spessore uniforme si può assumere, quando il carico è parallelo all'altezza del profilo: $A_v = \frac{Ah}{(b+h)}$.

Dove:

A è l'area lorda della sezione del profilo;

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave;

h è l'altezza delle sezioni cave.

Tab.230 Caratteristiche dimensionali e taglio resistente.

A_v	A	b	h
mm ²	mm ²	mm	mm
3475	6950	160	160
$V_{c,Rd}$	A_v	f_{yk}	γ_{MO}
N	mm ²	N/mm ²	
678317,834	3475	355	1,05

Poiché $V_{ed} \leq 0,5V_{c,Rd}$ per ogni tratto di pilastro la verifica della sezione per il profilo in esame può essere condotta senza considerare l'influenza del taglio.

Tab.231 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.

	$V_{c,Rd}$	T
	N	N
LIV +5	678317,834	6000
LIV +4	678317,834	4000
LIV +3	678317,834	4800
LIV +2	678317,834	2600

7.7.5.5 RESISTENZA DELLA SEZIONE A PRESSO-FLESSIONE

La prima verifica effettuata è stata quella di resistenza della sezione utilizzando la combinazione di carico allo SLE raro come prescritto §5.4.8.12 della normativa EC3.

Il criterio di verifica da utilizzare è il seguente per le sezioni di classe 1 e classe 2: $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$

Dove:

$N_{pl,Rd}$ è la resistenza di calcolo a compressione della sezione in direzione y-y per le sezioni di classe 1,2,3;

$M_{pl,Rd,y}$ retta della sezione in direzione y-y per le sezioni di classe 1,2;

$M_{pl,Rd,z}$ è la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione in direzione z-z per le sezioni di classe 1,2.

La resistenza di calcolo a compressione $N_{pl,Rd}$ è stata valutata in base alla (4.2.11) del §4.2.4.1.22 delle NTC2008: $N_{c,Rd} = \frac{Af_{yk}}{Y_{MO}}$

Tab.232 Azione assiale resistente.

$N_{c,Rd}$	A	f_{yk}	Y_{MO}
N	mm ²	N/mm ²	
2349761,905	6950	355	1,05

La resistenza di calcolo a flessione è stata valutata in riferimento alla (4.2.12) del §4.2.4.1.22 “ Resistenza delle membrature_Taglio ” delle NTC2008, ovvero quella di

seguito riportata: $M_{c,Rd} = \frac{(W_{pl,y} \cdot f_{yk})}{Y_{MO}}$ e risultano dunque:

Tab.233 Momento resistente.

$M_{c,Rd,y}$	$W_{pl,y}$	f_{yk}	Y_{MO}	$M_{c,Rd,z}$	$W_{pl,z}$	f_{yk}	Y_{MO}
Nmm	mm ³	N/mm ²		Nmm	mm ³	N/mm ²	
129152381	382000	355	1,05	129152381	382000	355	1,05

La sezione risulta perciò verificata:

Tab.234 Verifica della flessione.

	$M_{y(sup)}$	$M_{c,Rd,y}$	$M_{z(sup)}$	$M_{c,Rd,z}$	N	$N_{c,Rd}$	$\sigma/f_{yd} < 1$
	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	N	N	
LIVELLO +5	12100000	129152381	87700000	129152381	143200	2349761,905	0,834
LIVELLO +4	7100000	129152381	87700000	129152381	286300	2349761,905	0,856
LIVELLO +3	8300000	129152381	87700000	129152381	429500	2349761,905	0,926
LIVELLO +2	6200000	129152381	87700000	129152381	572600	2349761,905	0,971

Tab.235 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.

	$M_{y(inf)}$	$M_{c,Rd,y}$	$M_{z(inf)}$	$M_{c,Rd,z}$	N	$N_{c,Rd}$	$M_{y(inf)} < M_{c,Rd}$
	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	N	N	
LIVELLO +5	9400000	129152381	63400000	129152381	143200	2349761,905	0,625
LIVELLO +4	7500000	129152381	63400000	129152381	286300	2349761,905	0,671
LIVELLO +3	8800000	129152381	63400000	129152381	429500	2349761,905	0,742
LIVELLO +2	3100000	129152381	63400000	129152381	572600	2349761,905	0,759

7.7.5.6 VERIFICA DELL'INSTABILITA' A PRESSO-FLESSIONE

La seconda verifica effettuata sull'elemento pilastro è stata quella all'instabilità delle membrature utilizzando la combinazione di carico allo SLE raro come prescritto dalla normativa.

In riferimento al §5.5.4.(1) dell' EC3 le membrature aventi sezioni trasversali di classe 1 e di classe 2 soggette all'azione combinata della flessione e della compressione assiale devono soddisfare la seguente relazione:

$$\frac{N_{ed}}{(\chi_{min} * A)} + \frac{k_y M_y}{W_{pl,y}} + \frac{k_z M_z}{W_{pl,z}}$$

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y * N_{ed}}{\chi_y} \quad \text{con la limitazione } K_y \leq 1,5;$$

$$\mu_y = \lambda_y (2\beta_{My} - 4) + \left[\frac{W_{el,z} - W_{el,y}}{W_{pl,y}} \right] \quad \text{con limitazione } \mu_y \leq 0,9;$$

$$K_z = 1 - \frac{\mu_z * N_{ed}}{\chi_z} \quad \text{con la limitazione } K_z \leq 1,5;$$

$$\mu_z = \lambda_z (2\beta_{Mz} - 4) + \left[\frac{W_{el,z} - W_{el,y}}{W_{pl,y}} \right] \quad \text{con limitazione } \mu_z \leq 0,9;$$

χ_{min} =il valore minimo tra χ_y e χ_z .

Dove:

β_{My} e β_{Mz} sono coefficienti di momento equivalente uniforme per l'instabilità flessionale ;

χ_y e χ_z sono coefficienti di riduzione indicati nel 5.5.1 rispettivamente per gli assi y-y e z-z.

$\bar{\lambda}$	χ per curve di instabilità			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

Fig.278 Prospetto 5.5.2, Coefficienti di riduzione, EC3.

Come già valutato in sede di classificazione del profilo, la sezione in entrambe le direzioni y-y e z-z è caratterizzata da una curva di instabilità a, valutata sempre approssimando il profilo ad un tubolare cavo quadrato di sezione formata " a

caldo ". Nello specifico: $\lambda_1 = \pi * \left(\frac{E}{f_{yk}} \right)^{1/2}$.

Tab.236 Definizione del coefficiente λ_y .

λ_1	π	E	f_{yk}
		N/mm ²	N/mm ²
76,37	3,14	210000	355

Con $\lambda_y = \frac{l_0}{i_{max}}$.

Dove:

l_0 è la lunghezza di libera inflessione valutata pari alla lunghezza stessa del pilastro per fare riferimento ad una condizione cautelativa.

i_{max} è il raggio giratore di inerzia per la sezione in entrambe le direzioni, poiché il profilo è doppiamente simmetrico.

Si ottiene:

Tab.237 Definizione del coefficiente λ_y .

λ_y	l_0	$i_{(y-y)}$
	mm	mm
55,76	3340	59,9

A questo punto attraverso la seguente formula si ottengono i valori dei coefficienti λ_y e λ_z che risultano essere identici per la direzione y-y e z-z poiché la sezione è doppiamente simmetrica, ovvero $\lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$.

Coefficienti Definizione del coefficiente λ_y , Definizione del coefficiente λ_1 .

λ_y	λ_y	λ_1
0,73	55,76	76,37

A questo punto tramite il *Prospetto 5.5.3* dell' EC3, nota la curva di instabilità per la sezione è possibile definire i coefficienti di riduzione $\chi_y = \chi_z = 0,69975$.

Dunque $\chi_y = \chi_z = \chi_{min}$.

I coefficienti di momento equivalente β_{My} e β_{Mz} in riferimento a quanto esplicitato al §5.5.4.(7) devono essere desunti attraverso dal *Prospetto 5.5.3* in funzione dell'andamento del diagramma di momento flettente fra i punti controventanti come segue:

Tab.238 Coefficienti di momento equivalente.

Coefficiente	Momento attorno all'asse	Punti controventati in direzione
β_{My}	y-y	z-z
β_{Mz}	z-z	y-y

Dunque:

$$\beta_{(My)} = 1,8 + 0,7\psi$$

Dove ψ è il rapporto tra i momenti alle estremità del diagramma del momento flettente.

Tab.239 Rapporto tra i momenti all'estremità.

	$\beta_{(My)}$	ψ
LIV +5	2,342	0,775
LIV +4	2,468	0,955
LIV +3	2,460	0,942
LIV +2	2,141	0,486

	$\beta_{(My)}$	ψ
LIV +5	2,306	0,723
LIV +4	2,436	0,909
LIV +3	2,459	0,941
LIV +2	2,152	0,502

A questo punto è possibile definire i coefficienti μ_y, K_y e μ_z, K_z rispettivamente per le direzioni y-y e z-z.

$$\mu_y = \lambda_y (2\beta_{My} - 4) + \left[\frac{W_{el,y} - W_{pl,y}}{W_{el,y}} \right]$$

Tab.240 Coefficiente μ_y .

	μ_y	λ_y	$\beta_{(My)}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$
				mm ³	mm ³
LIV +5	0,724	0,730	2,342	382000	312000
LIV +4	0,908	0,730	2,468	382000	312000
LIV +3	0,896	0,730	2,460	382000	312000
LIV +2	0,430	0,730	2,141	382000	312000

$$\mu_z = \lambda_z (2\beta_{Mz} - 4) + \left[\frac{W_{el,z} - W_{pl,z}}{W_{el,z}} \right]$$

Tab.241 Coefficiente μ_z .

	μ_z	λ_z	$\beta_{(Mz)}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$
				mm ³	mm ³
LIV +5	0,671	0,730	2,306	382000	312000
LIV +4	0,861	0,730	2,436	382000	312000
LIV +3	0,894	0,730	2,459	382000	312000
LIV +2	0,446	0,730	2,152	382000	312000

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y * N_{ed}}{\chi_y}$$

Tab.242 Coefficiente K_y .

	k_y	μ_y	N	χ_y	A	f_{yk}
			N		mm ²	
LIV +5	0,991	0,724	21400	0,69975	6950	355
LIV +4	0,977	0,908	42900	0,69975	6950	355
LIV +3	0,967	0,896	64300	0,69975	6950	355
LIV +2	0,979	0,430	85800	0,69975	6950	355

$$K_z = 1 - \frac{\mu_z * N_{ed}}{\chi_z}$$

Tab.243 Coefficiente K_z .

	k_z	μ_z	N	χ_z	A	f_{yk}
			N		mm ²	
LIV +5	0,972	0,671	71900	0,69975	6950	355
LIV +4	0,928	0,861	143800	0,69975	6950	355
LIV +3	0,888	0,894	215700	0,69975	6950	355
LIV +2	0,926	0,446	287600	0,69975	6950	355

A questo punto è possibile applicare il criterio di verifica:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} * A} + \frac{k_y M_y}{W_{pl,y}} + \frac{k_z M_z}{W_{pl,z}} \leq f_{yd}$$

Tab.244 Verifica a pressoflessione del pilastro.

	N	χ_{min}	A	k_y	$M_{y(sup)}$	$W_{pl,y}$	k_z	$M_{z(sup)}$	$W_{pl,z}$	$\sigma <$	f_{yd}
	N		mm ²		Nmm	mm ³		Nmm	mm ³		N/mm ²
LIV +5	93300	0,7	6950	0,991	7100000	382000	0,972	87700000	382000	260,767	338,1
LIV +4	186700	0,7	6950	0,977	4200000	382000	0,972	43700000	382000	160,336	338,1
LIV +3	280000	0,7	6950	0,967	4900000	382000	0,972	55600000	382000	69,969	338,1
LIV +2	373400	0,7	6950	0,979	3700000	382000	0,972	41800000	382000	192,624	338,1

	N	χ_{min}	A	k_y	$M_{y(sup)}$	$W_{pl,y}$	k_z	$M_{z(sup)}$	$W_{pl,z}$	$\sigma <$	f_{yd}
	N		mm ²		Nmm	mm ³		Nmm	mm ³		N/mm ²
LIV +5	93300	0,7	6950	0,991	5500000	382000	0,972	63400000	382000	194,782	338,1
LIV +4	186700	0,7	6950	0,977	4400000	382000	0,972	48100000	382000	172,044	338,1
LIV +3	280000	0,7	6950	0,966	5200000	382000	0,972	59100000	382000	221,120	338,1
LIV +2	373400	0,7	6950	0,978	1800000	382000	0,972	21000000	382000	134,828	338,1

7.8 DETTAGLI COSTRUTTIVI

7.8.1 CONNESSIONE DEI MODULI IN ACCIAIO

La connessione tra moduli in acciaio costituisce l'elemento meccanico per mezzo del quale si realizza l'accoppiamento e la solidarietà degli spostamenti tra il modulo tipo container e, a seconda dei casi, un altro modulo o la struttura in calcestruzzo armato. L'elemento designato per questi dispositivi è di norma il corner casting, ossia l'unico punto di contatto tra il modulo tipo container e ciò che lo circonda. Questi prodotti sono presenti sul mercato in una moltitudine di varianti, ciascuna caratteristica per ogni specifica applicazione. Per tale motivo in questa sede non verrà presentata una descrizione dettagliata degli stessi al fine di approfondire altri aspetti della trattazione in esame. Ai fini considerati è possibile individuare due categorie di interesse principali di seguito descritte.

7.8.1.1 DISPOSITIVI DI ACCOPPIAMENTO VERTICALE

I dispositivi di accoppiamento verticale sono in genere costituiti da un elemento centrale, su cui si appoggiano le facce del corner casting, e da un perno rotante, dotato di una o due testine, che si inseriscono all'interno dei fori di cui i corner castings sono provvisti. Il meccanismo di fissaggio, che consiste in una rotazione a 90° delle testine che si inseriscono all'interno dei fori, è movimentato, a seconda

dei differenti modelli, o manualmente, attraverso una levetta o un bullone, oppure automaticamente. Un esempio del sistema appena descritto è rappresentato dai dispositivi Twist-Locks.

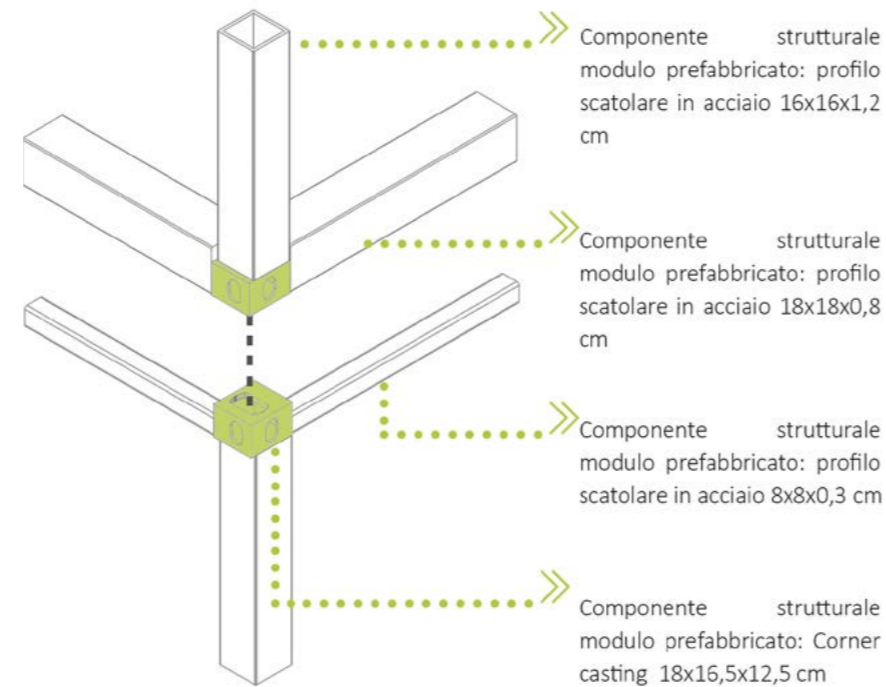
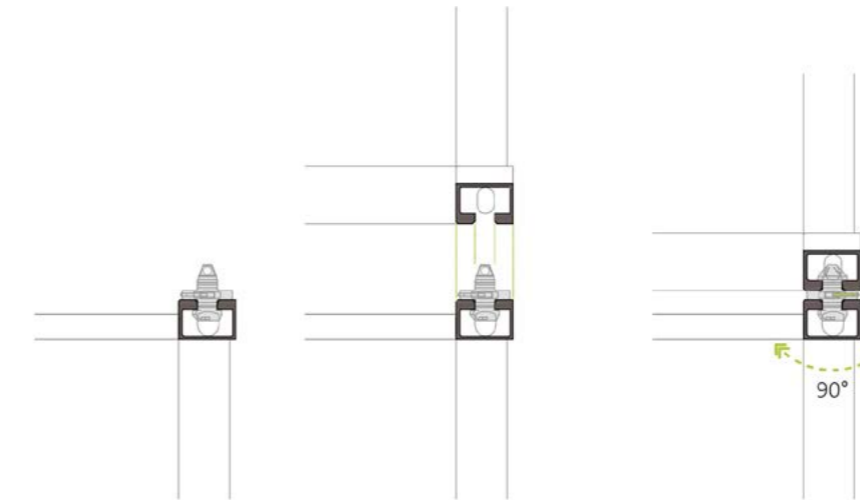


Fig.279 Dettaglio fissaggio verticale tra moduli in acciaio.

Fig.280 Schema generale di funzionamento del dispositivo di ancoraggio verticale.

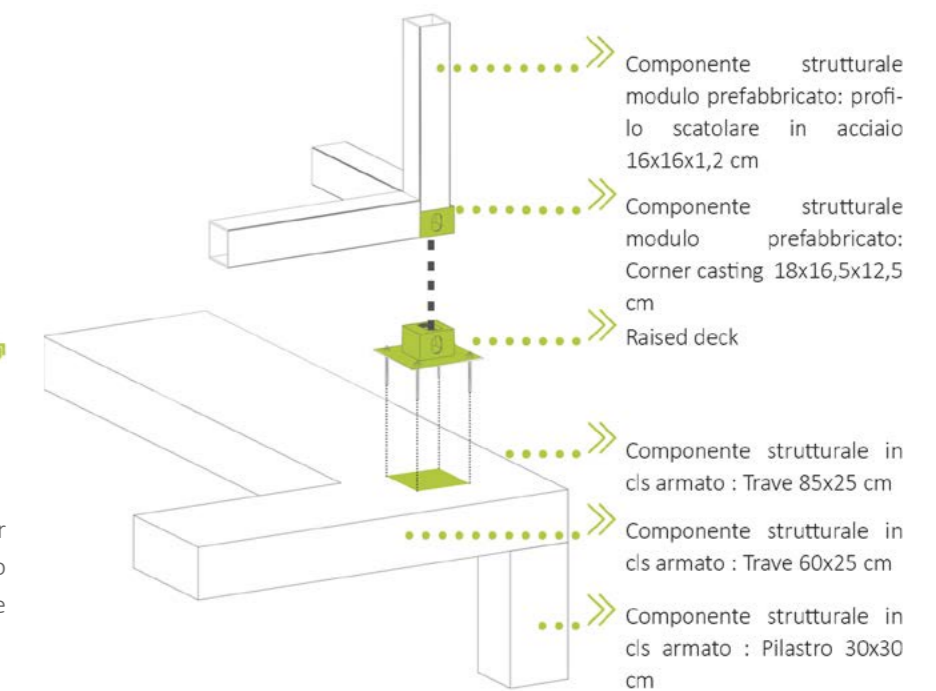


Quando detti dispositivi vengono impiegati per connettere, attraverso i corner casting inferiori, il modulo tipo container ad un piano di appoggio in calcestruzzo armato, richiedono che quest'ultimo sia dotato di un elemento di fondazione denominato Raised Deck.



Fig.281 Fissaggio dispositivi di ancoraggio.

Fig.282 Dettaglio fissaggio verticale tra modulo in acciaio e struttura in calcestruzzo armato.



7.8.1.2 DISPOSITIVI DI ACCOPPIAMENTO ORIZZONTALE

I dispositivi di accoppiamento orizzontale sono costituiti da due ganasce mobili, o a distanza regolabile, montate su di un perno cilindrico. Dette ganasce trovano alloggiamento nei fori dei Twist Lock e provvedono a mantenere solidali, alla distanza voluta, i moduli tipo container disposti su di una superficie complanare. Tali dispositivi vengono denominati Bridge Fittings.

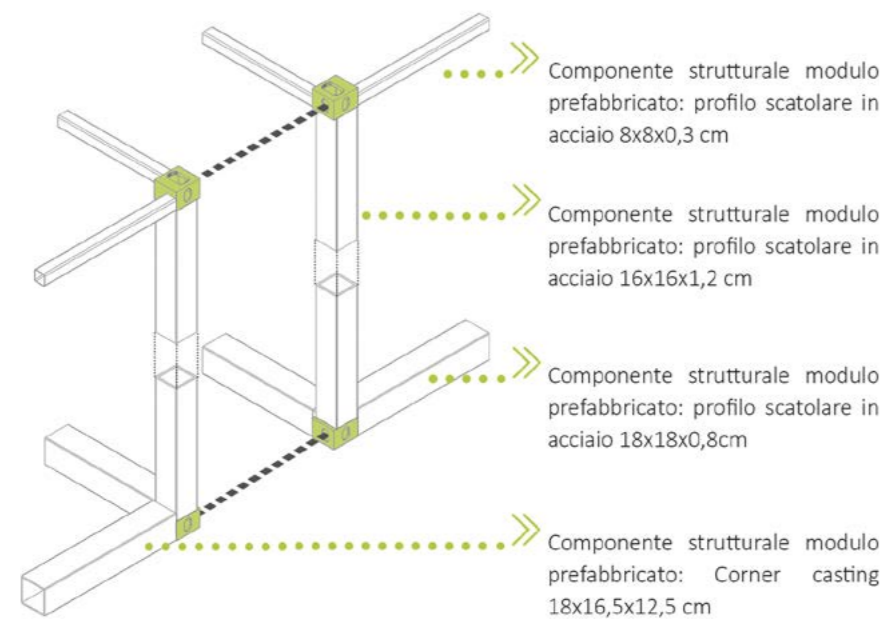


Fig.283 Dettaglio fissaggio orizzontale tra moduli in acciaio.



Fig.284 Schema generale di funzionamento del dispositivo di ancoraggio orizzontale.

7.8.1.3 IMPLEMENTAZIONE DEI DISPOSITIVI DI ACCOPPIAMENTO

Il progetto strutturale presenta due peculiarità relative al sistema appena descritto. La prima riguarda l'impiego dell'elemento di fondazione Raised Deck per connettere, attraverso i Corner Casting sia inferiori che superiori, il modulo tipo container al piano verticale in calcestruzzo armato, che costituisce il vano scale.

La seconda implicazione riguarda la connessione reciproca di tre moduli tipo container. Tale necessità, derivante dalla disposizione dei moduli planimetricamente, si ripete ad ogni piano. L'immagine seguente mostra un estratto della sezione orizzontale del livello +1 che evidenzia la questione.

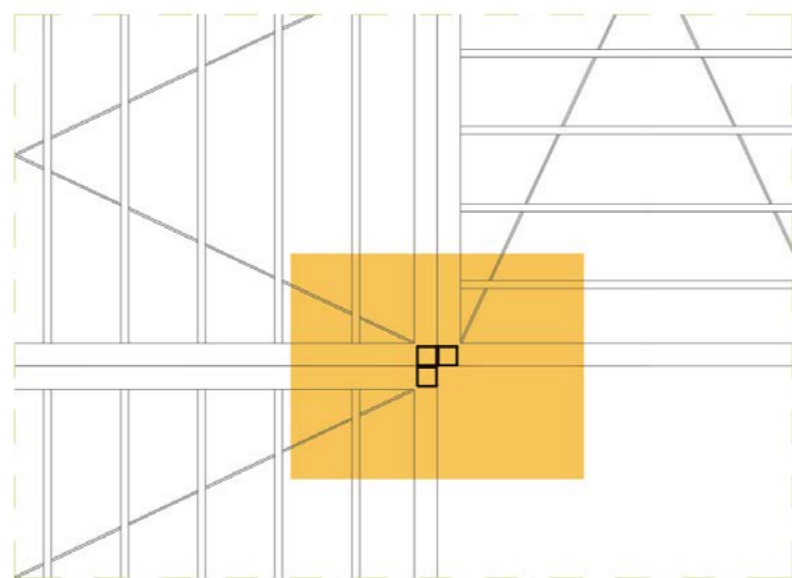


Fig.285 Connessione fra tre moduli prefabbricati.

Tale problematica è stata risolta inserendo all'interno dei moduli A,B,C, denominati all'interno dell'illustrazione, due Corner Castings sovrapposti in corrispondenza della connessione in esame. In tal modo, inferiormente vengono ancorati in direzione orizzontale i moduli B e C, superiormente vengono ancorati i moduli A e B, sia in direzione orizzontale tra di loro, che in verticale con i moduli appartenenti al piano superiore.

Operando in tale direzione vengono risolti tutti i problemi di accoppiamento e solidarietà degli spostamenti tra il modulo tipo container e, a seconda dei casi, un altro modulo o la struttura in calcestruzzo armato.

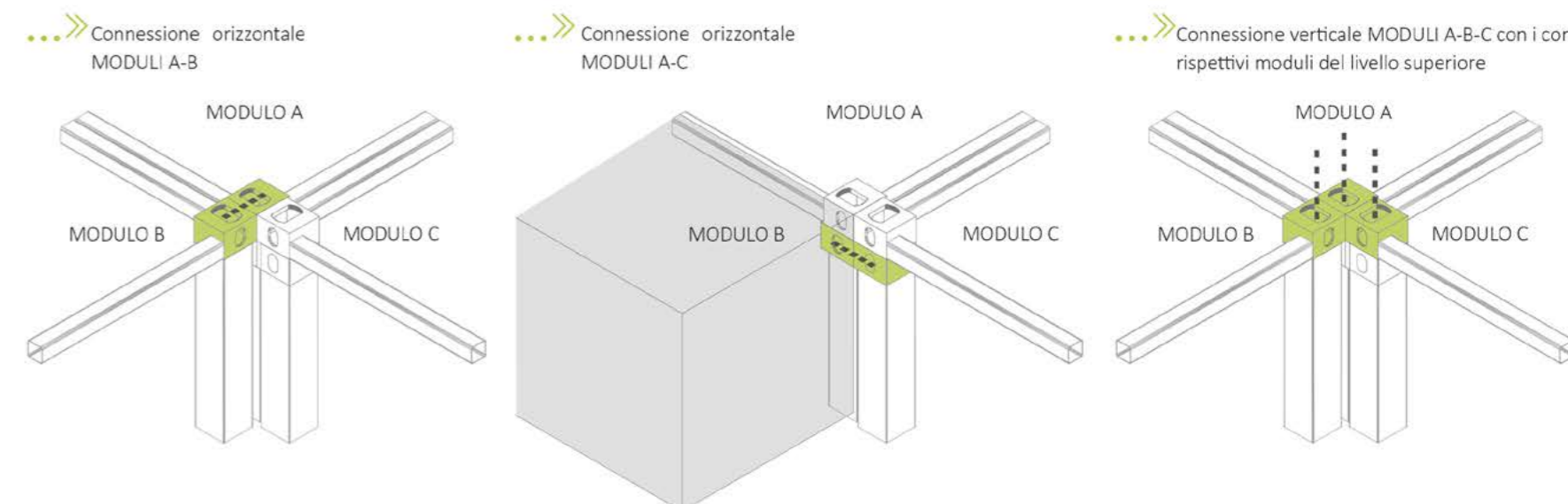


Fig.286 Dettaglio fissaggio verticale e orizzontale tra più moduli in acciaio.

7.9 PREDIMENSIONAMENTO ELEMENTI IN CALCESTRUZZO

Nel presente capitolo, verranno predimensionati gli elementi in calcestruzzo armato presenti nel progetto, ovvero quelli collocati tra piano terra e livello-2. Per quanto riguarda il nucleo di controvento, la trattazione sarà svolta a parte.

7.9.1 SOLAIO

Per quanto riguarda i piani in cui la struttura è composta da elementi in calcestruzzo armato, si è scelto di utilizzare una tecnologia di solaio con lamiera grecata collaborante in acciaio.

Per il predimensionamento di tale elemento, sono state utilizzate le tabelle fornite dal produttore.

Si è scelta una lamiera tipo: "Solac 75".


Carichi netti in Kg/m ²				l luci in m								
condizioni di carico	altezza cm	spessore mm	peso Kg/m ²	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
	SOLETTA 6,5 cm. Ht = 14 cm.	0,6	220	2598	1850	1365	1032	794	618	484	380	297
		0,7	221	3000	2145	1591	1210	938	737	584	465	370
		0,8	223	3391	2432	1810	1383	1078	852	681	547	441
		1,0	225	3775	2985	2233	1717	1348	1075	867	706	577
		1,2	228	4034	3425	2637	2036	1606	1288	1046	857	708
freccia cm				0,17	0,23	0,29	0,37	0,46	0,56	0,66	0,78	0,90

Fig.287 Tabella di predimensionamento della lamiera grecata "Solac 75".

I dati necessari da applicare presenti nella tabella riportata, sono:

- la luce massima che essa deve coprire ovvero 3,3 m. Nell'unico caso in cui la distanza tra le travi è superiore a 5 m, poiché questo tipo di tecnologia non copre tali distanze in relazione al carico di progetto, si è scelto di realizzare un elemento a piastra; [rif. Tav. 48]
- il carico allo SLE massimo agente; viene utilizzata tale combinazione poiché il dimensionamento del produttore è legato alla freccia; dalle combinazioni allo SLE si ottiene un carico di 6,85 kN/m²=685 kg/m².

Si ha quindi una soletta alta 14 cm con lamiera di 7,5 cm e spessore 1,2 mm con una caldana in calcestruzzo di 6,5 cm. Il produttore fornisce quindi il peso di tale soletta ovvero 2,28 kN/m².

7.9.2 TRAVI

Per predimensionare le travi in calcestruzzo è stato necessario imporre più condizioni, correlate l'una con l'altra, e scegliere dei limiti geometrici da cui partire. Si è scelto di mantenere un'altezza della trave h=25 cm al fine di non eccedere nello spessore del solaio, data la necessità di un interpiano interno ai locali piuttosto alto.

Contemporaneamente è stato imposto un copriferro c=3 cm, seguendo *NTC 2008* § *C4.1.6.1.3*. in particolare la *Tab.C.4.1.IV* di seguito inserita:

C _{min}	C _o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			C≥C _o	C _{min} ≤C<C _o	C≥C _o	C _{min} ≤C<C _o	C≥C _o	C _{min} ≤C<C _o	C≥C _o	C _{min} ≤C<C _o
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Fig.288 Tab.C.4.1.IV-Copriferri minimi in mm.

Nel caso in oggetto viene utilizzato un calcestruzzo di classe C25/30 in elementi non a piastra, applicati in un ambiente ordinario.

Poiché il copriferro ha la funzione di proteggere le barre da c.a., il minimo valore tabellato è 25 mm. Si sceglie di utilizzare c=30 mm per essere maggiormente in favore di sicurezza.

Definiti tali grandezze, si ottiene una altezza utile della sezione d=h-c=22 cm.

L'altezza utile della sezione rappresenta la distanza tra baricentro delle armature in zona tesa e lembo compresso della sezione.

La prima delle formule base per dimensionare la trave si ottiene sfruttando la condizione di equilibrio alla rotazione, ovvero considerando la coppia generata dagli sforzi di compressione e trazione bilanciata con il momento flettente agente (M_{Ed}).

Essa è quindi: $M_{Ed}=0,8*b*x*f_{cd}*(d-0,4x)$.

Dove:

d distanza tra il lembo compresso e il baricentro delle armature;

b base della sezione della trave;

f_{cd} è la resistenza cubica a compressione di progetto; essa è pari a 14,2 N/mm²; questa grandezza viene ricavata applicando la formula con diversi parametri riportata: $f_{cd}=\alpha_{cc}\frac{f_{ck}}{\gamma_c}=0,85\frac{25}{1,5}=14,2\frac{N}{mm^2}$;

x distanza dell'asse neutro dal lembo compresso del calcestruzzo;

0,8 coefficiente di riduzione dell'area compressa del calcestruzzo definito dal legame costitutivo stress block;

d-0,4x braccio della coppia interna riferito al baricentro delle barre d'armatura.

La seconda formula considerata è legata alla combinazione SLE.

Essa rappresenta l'equilibrio alla rotazione rispetto al baricentro delle trazioni, bilanciato rispetto al momento: $\frac{1}{2}\sigma_c b x \left(d-\frac{x}{3}\right)=M_{Ed}$

In cui σ_c è lo sforzo interno al calcestruzzo.

In questo caso, viene considerato pari allo sforzo limite ammissibile $\sigma_c=0,45f_{ck}$ secondo la combinazione quasi permanente già ricavata, definito dalla *NTC 2008* § *C4.1.2.2.5*.

M_{Ed} è quindi il momento agente allo SLE in combinazione quasi permanente calcolata nei paragrafi precedenti.

Le incognite di queste equazioni sono due: in primo luogo il termine b, che è quello che interessa il predimensionamento, e secondariamente la posizione x dell'asse neutro. Quest'ultima grandezza, però, dipende da b e da d.

Per ricavare tutti questi parametri, sono state messe a sistema le due formule, ottenendo entrambi i valori.

Si riportano nella tabella seguente i fattori considerati nel calcolo e i risultati ottenuti dal predimensionamento così svolto:

Tab.245 Predimensionamento della trave in c.a.

$M_{ed\ SLF}$	$M_{ed\ SLU}$	f_{cd}	f_{cd}	$\sigma_{c\ adm}$	$\sigma_{c\ adm}$	d	c	h	x	b	b_{scelto}
kNm	kNm	N/mm ²	kN/m ²	N/mm ²	kN/m ²	m	m	m	m	m	m
164,05	237,90	14,17	14166,67	11,25	11250,00	0,22	0,03	0,25	0,39	0,83	0,85

Il momento agente utilizzato viene definito in configurazione appoggio-appoggio e quindi vale $M_{Ed} = \frac{pL^2}{8}$.

7.9.3 PILASTRI IN C.A.

Il pilastro scelto per il predimensionamento è quello riportato in Figura 291. Esso rappresenta la condizione più critica poiché al di sopra di esso gravano anche tutti e cinque i piani fuori terra dell'edificio. E' necessario prima di tutto definire l'area d'influenza del pilastro, ottenuta mediante il tracciamento degli assi di simmetria delle travi e dei solai adiacenti all'elemento stesso. Una volta definita tale superficie, essa viene amplificata tramite un fattore maggiore di 1, al fine di considerare la componente di iperstaticità della struttura che aumenta il carico agente sul pilastro.

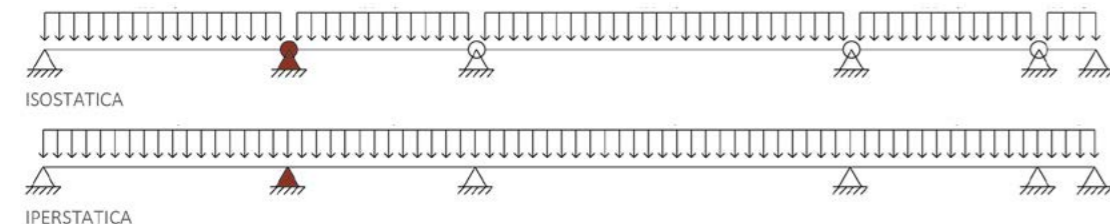


Fig.289 Schema statico per il calcolo del coefficiente di iperstaticità riferito alla trave.

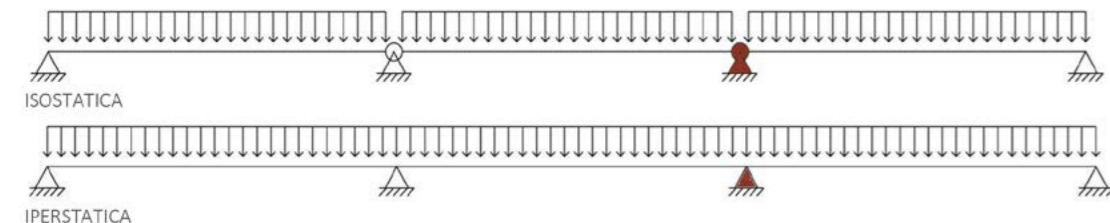


Fig.290 Schema statico per il calcolo del coefficiente di iperstaticità riferito al solaio.

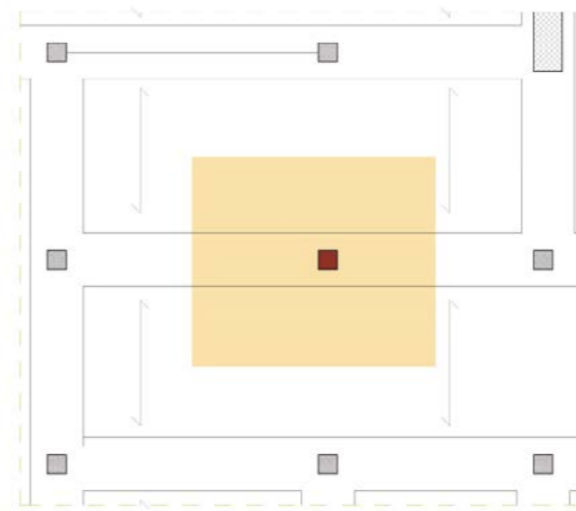


Fig.291 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tavola 48].

Il coefficiente di iperstaticità è ottenuto mediante il rapporto tra le reazioni vincolari all'appoggio rappresentante il pilastro nella condizione iperstatica, ossia dove le travi e il solaio sono considerate in configurazione continua, e la sua situazione isostatica, ovvero in presenza di discontinuità che permettono la rotazione (cerniere). Essendo il carico agente sul pilastro influenzato sia dal solaio che dalla trave principale, vengono definiti i relativi coefficienti di iperstaticità per entrambi i casi.

Sia per quanto riguarda le travi che il solaio, esse sono rappresentati negli schemi statici delle Figure 289 e 290 appena riportati, utilizzando come numero di cam-pate quello reale riportato nella pianta strutturale.

Si ottengono quindi:

$$\cdot \text{SOLAIO } \gamma = \frac{3,6}{3,2} = 1,125 ;$$

$$\cdot \text{TRAVE } \gamma = \frac{6}{4,9} = 1,03 ;$$

L'area di influenza corretta risulta, per i diversi piani:

Tab.246 Area di influenza corretta.

PIANO	A_{base}	γ_{trave}	γ_{solaio}	A_{infl}
	m ²			m ²
1	12,80	1,03	1	13,19
0	12,80	1,03	1,125	14,84
-1	12,80	1,03	1,125	14,84

Nel caso dell'area al piano 1, il coefficiente di iperstaticità del solaio viene calcolato pari ad 1 poiché non si tratta della tecnologia in lamiera grecata collaborante, ma del solaio del modulo prefabbricato..

Per quanto riguarda i carichi da utilizzare, non si parte dalle combinazioni ma dalle diverse tipologie di carico:

Tab.247 Carico agente.

LIVELLO	Q	G_1	G_2
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
+1	4	2,28	0,9
0	2,5	2,28	1,85
-1	5	2,28	1,85

La suddivisione del piano va dal solaio livello 1, ovvero quello i cui carichi scaricano sui pilastri del piano 0, al livello-1, ovvero quello che scarica sul pilastro del piano-2. Tali carichi al metro quadrato vengono moltiplicati per l'area di influenza sopra calcolata, ottenendo così un forza concentrata.

Per quanto riguarda i carichi variabili, secondo l'Eurocodice 1 § 6.3.1.2, è necessario definire un fattore di riduzione α_A da moltiplicare agli stessi in funzione della categoria di destinazione d'uso, come descritto nel prospetto nella pagina seguente.

Tale fattore si calcola tramite:
$$\alpha_A = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1$$

ψ_0 è il fattore in accordo con ENV 1991-1 Prospetto 9.3; nel caso dell'edificio in esame per il livello 1 si considera la CATEGORIA A, per i piani inferiori la CATEGORIA C;

A_0 10 m²;

A è l'area caricata.

Il carico distribuito quindi ottenuto è:

Tab.248 Carichi variabili agenti corretti.

LIVELLO	Q	Ψ_0	α_A	Q
	kN/m ²			kN
+1	4	0,7	1,26	66,38
0	2,5	0,7	1,17	43,58
-1	5	0,7	1,17	87,09

Categoria	Usò specifico	Esempio
A	Aree per attività domestiche e residenziali	Camere in edifici residenziali e case; camere e corsie di ospedali; camere da letto in hotel e ostelli; cucine e bagni.
B	Aree di uffici	
C	Aree dove la gente può adunarsi (con l'eccezione delle aree definite in A, B, D, E)	C1: Aree con tavoli, ecc., per esempio aree in scuole, caffè, ristoranti, refettori, sale di lettura, reception, ecc. C2: Aree con sedie fisse, per esempio aree in chiese, teatri o cinema, sale da conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'aspetto, ecc. C3: Aree senza ostacoli per gente in movimento, per esempio aree in musei, sale di esposizione, ecc. e aree di accesso al pubblico, edifici amministrativi, hotel, ecc. C4: Aree con possibili attività fisiche, per esempio balere, palestre, palcoscenici, ecc. C5: Aree suscettibili di affollamento, per esempio in edifici per eventi pubblici come sale da concerto, palazzi dello sport includenti tribune, gradinate e aree di accesso, ecc.
D	Aree per acquisti	D1: Aree di comperò al dettaglio generali, per esempio magazzini, cartolerie, magazzini d'ufficio.
E	Aree suscettibili di accumulazione di beni, incluse le aree d'accesso	Aree per uso a magazzino incluse le biblioteche. I carichi definiti nel prospetto 6.2 saranno presi come carichi minimi qualora non siano definiti carichi più appropriati per il caso specifico. Un'ulteriore guida è data nel prospetto 4.8.

Fig.292 Prospetto 6.1.-Categoria per destinazione d'uso.

Inoltre, al carico G_1 sopra riportato, è necessario aggiungere il peso della trave, poichè anch'esso gravante sul pilastro. Tale peso vale quindi, essendo essa fuori spessore: $G_{1\text{trave}} = h \cdot b \cdot \text{densità}_{c.a.} \cdot \gamma_{\text{trave}} \cdot L$.

Azione	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sovraccarichi sugli edifici¹⁾:			
categoria A: domestici e residenziali	0,7	0,5	0,3
categoria B: uffici	0,7	0,5	0,3
categoria C: aree di congresso	0,7	0,7	0,6
categoria D: aree di acquisto	0,7	0,7	0,6
categoria E: magazzini	1,0	0,9	0,8
Carichi del traffico negli edifici:			
categoria F: peso del veicolo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
categoria G: $30 \text{ kN} < \text{peso del veicolo} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
categoria H: tetti	0,0	0,0	0,0
Carichi da neve sugli edifici	0,6 ²⁾	0,2 ²⁾	0,0 ²⁾
Carichi da vento sugli edifici	0,6 ²⁾	0,5 ²⁾	0,0 ²⁾
Variazioni di temperatura (senza fuoco) negli edifici ³⁾	0,6 ²⁾	0,5 ²⁾	0,0 ²⁾
<p>Nota 1 - Per la combinazione di sovraccarichi per edifici multipiano, vedere ENV 1991-2-1. Nota 2 - Possono essere richieste delle modifiche per regioni geografiche differenti. Nota 3 - Vedere ENV 1991-2-5.</p>			

Fig.293 Prospetto 9.3.-Coefficienti Ψ per gli edifici.

Dove:

h è l'altezza fuori spessore della trave;

b è la larghezza della trave;

γ_{trave} è il coefficiente di iperstaticità precedentemente calcolato;

L è la lunghezza della trave considerata.

Tab.249 Carico strutturale della trave agente.

LIVELLO	h	b	densità _{c.a.}	γ_{trave}	L	$G_{1\text{trave}}$
	m	m	kN/m ³		m	kN
+1	0,14	0,80	25,00	1,03	3,3	9,52
0	0,14	0,80	25,00	1,03	3,3	9,52
-1	0,14	0,80	25,00	1,03	3,3	9,52

I carichi utilizzati per il predimensionamento sono quindi quelli riportati:

Tab.250 Carichi agenti per livello.

LIVELLO	Q	G_1	G1 trave	$G_{1\text{tot}}$	G_2
	kN	kN	kN	kN	kN
+1	66,38	30,07	9,52	39,59	11,87
0	43,55	33,83	43,34	1,85	27,45
-1	87,09	33,83	9,52	43,34	27,45

La verifica dell'elemento compresso deve considerare il collasso della sezione maggiormente caricata, quindi è stata adottata la combinazione dei carichi fondamentale (SLU). Questa è ottenuta amplificando il carico con il coefficiente di sicurezza parziale (γ_f) ottenuto dalla media pesata tra i relativi carichi G_1 , G_2 e Q e

i coefficienti di sicurezza espressi nel § 2.6.1 delle NTC già riportati. Il coefficiente parziale di sicurezza risulta quindi: $\gamma_f = \frac{\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k}}{G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k}}$

Con $\gamma_{G1}=1,3$, $\gamma_{G2}=1,5$ e $\gamma_Q=1,5$

Si ottengono quindi i carichi applicati:

Tab.251 Azione assiale agente per livello.

LIVELLO	F	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_Q	γ_f	N_{ed}
	kN					kN
+1	117,83	1,30	1,50	1,50	1,43	741,43
0	114,34	1,30	1,50	1,50	1,42	904,27
-1	157,88	1,30	1,50	1,50	1,45	1132,43

In cui:

$$F = G_1 + G_2 + Q;$$

$N_{\text{Ed}} = F \cdot \gamma_f + N_{\text{Ed sup}}$ in cui $N_{\text{Ed sup}}$ è la reazione del piano immediatamente superiore.

Nel caso del livello +1 alla N_{Ed} è stata aggiunta la N del pilastro del livello immediatamente superiore, ovvero la risultante delle azioni interne dei pilastri dei piani delle residenze. Essa vale $N=572,6$ kN alla combinazione SLU.

Per l'area di calcestruzzo, necessaria a portare tale forza, si applica: $A_c = \frac{N_{\text{Ed}}}{f_{\text{cd}}}$

La resistenza di calcolo a compressione, f_{cd} , è: $f_{\text{cd}} = \frac{\alpha_{\text{cc}} f_{\text{ck}}}{\gamma_c}$.

Dove

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata e vale 0,85;

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo e vale 1,5;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni, poiché la classe di calcestruzzo scelta è C25/30, essa vale 25 kN/mm².

La resistenza di calcolo a compressione di progetto relative al calcestruzzo C25/30 risulta quindi: $f_{cd} = \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} = 14,17 \frac{N}{mm^2}$. L'area ottenuta applicando i termini ap-

pena esplicitati è di seguito riportata, insieme alle dimensioni del pilastro scelte.

Tab.252 Sezione scelta del pilastro.

LIVELLO	N_{ed}	f_{cd}	A_c	b_1	b_2	A_{eff}
	kN	kN/m ²	m ²	m	m	m ²
+1	741,43	14166,67	0,05	0,3	0,3	0,09
0	904,27	14166,67	0,06	0,3	0,3	0,09
-1	1132,43	14166,67	0,08	0,3	0,3	0,09

Si procede con un'ulteriore verifica aggiungendo ai carichi N_{ed} anche il peso del pilastro che è $P = A_{eff} \cdot h \cdot \text{densità}_{c.a.}$. Con h che è l'altezza del pilastro in oggetto.

Tab.253 Peso strutturale del pilastro.

LIVELLO	A_{eff}	h	P
	m ²	m	kN
+1	0,09	3,5	7,88
0	0,09	4,5	10,13
-1	0,09	4,5	10,13

Tale peso viene aggiunto nel nuovo calcolo della forza totale agente sul pilastro (all'interno dei G1) e nella definizione dei coefficienti di amplificazione. Tali calcoli vengono condotti come precedentemente descritto:

Tab.254 Azione assiale agente per livello.

LIVELLO	F_{tot}	γ_f	N_{Ed}
	kN		kN
+1	125,71	1,52	763,64
0	124,46	1,54	955,22
-1	168,01	1,53	1212,02

La verifica è soddisfatta se: $\frac{N_{Ed}}{A_c} \leq f_{cd}$

Utilizzando A_c e f_{cd} precedentemente esplicitati si ottiene che l'area scelta soddisfa la relazione:

Tab.255 Verifica a compressione.

LIVELLO	N_{Ed}/A_c	f_{cd}	
	kN/m ²	kN/m ²	
+1	8484,84	14166,67	VERIFICATO
0	10613,58	14166,67	VERIFICATO
-1	13466,86	14166,67	VERIFICATO

7.10 AZIONE SISMICA

7.10.1 PERIODO DEL MODO DI VIBRARE PRINCIPALE

In riferimento al § 7.3.3.2 delle *Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/1/2008* l'azione sismica agente sull'edificio viene calcolata attraverso un'analisi statica lineare, che consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica.

Tale analisi può essere effettuata a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2,5 T_c$ o T_D (parametri definiti in seguito) e che la costruzione sia regolare in altezza.

In assenza di calcoli più dettagliati T_1 può essere stimato, per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, utilizzando la formula seguente: $T_1 = C \cdot H^{3/4}$.

Dove:

H è l'altezza della costruzione dal piano di fondazione;

C_1 è un parametro che dipende dal tipo di struttura analizzata, in particolare, vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

Nel caso in esame si ottiene:

Tab.256 Periodo del modo di vibrare principale.

C_1 [-]	0,05
H [m]	27,5
T_1 [s]	0,600

7.10.2 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica di ciascun punto del suolo sottostante l'edificio può essere scomposta in componenti secondo tre direzioni ortogonali: due orizzontali e una verticale, indipendenti tra loro. In riferimento al § 7.2.1 delle *NTC 2008* quest'ultima componente verrà trascurata, in quanto l'edificio in esame non presenta le caratteristiche che ne renderebbero necessario il calcolo. 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.

Secondo le prescrizioni contenute nel §3.2 delle nuove *Norme Tecniche di Costruzioni D.M. 14/1/2008*, "la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria C, quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad

essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R ”.

La pericolosità sismica di base si ottiene tramite gli spettri di risposta, rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche relative al sito in esame. Le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri, caratteristici della localizzazione geografica del sito di progetto, ipotizzato rigido orizzontale:

a_g , accelerazione del suolo orizzontale massima attesa al sito;

F_o , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono inoltre ottenuti considerando una vita di riferimento della costruzione V_R , e prescelte probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , diverse a seconda dello Stato Limite considerato, cioè la probabilità che, in un periodo di tempo definito, nel sito in esame si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un prefissato valore.

Tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_R proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno Stato Limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

Questi parametri sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software di calcolo dell'azione sismica (*Spettridi risposta, ver. 1.0.3*), messo a disposizione dal *Ministero dei Lavori Pubblici*, che fa riferimento al *D.M. 14 Gennaio 2008*, sull'approvazione delle nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni*. Inserendo i dati di regione, provincia e comune del sito in esame, il software ha fornito uno spettro di risposta elastico per diversi periodi di ritorno T_R di riferimento, e le tabelle che seguono.

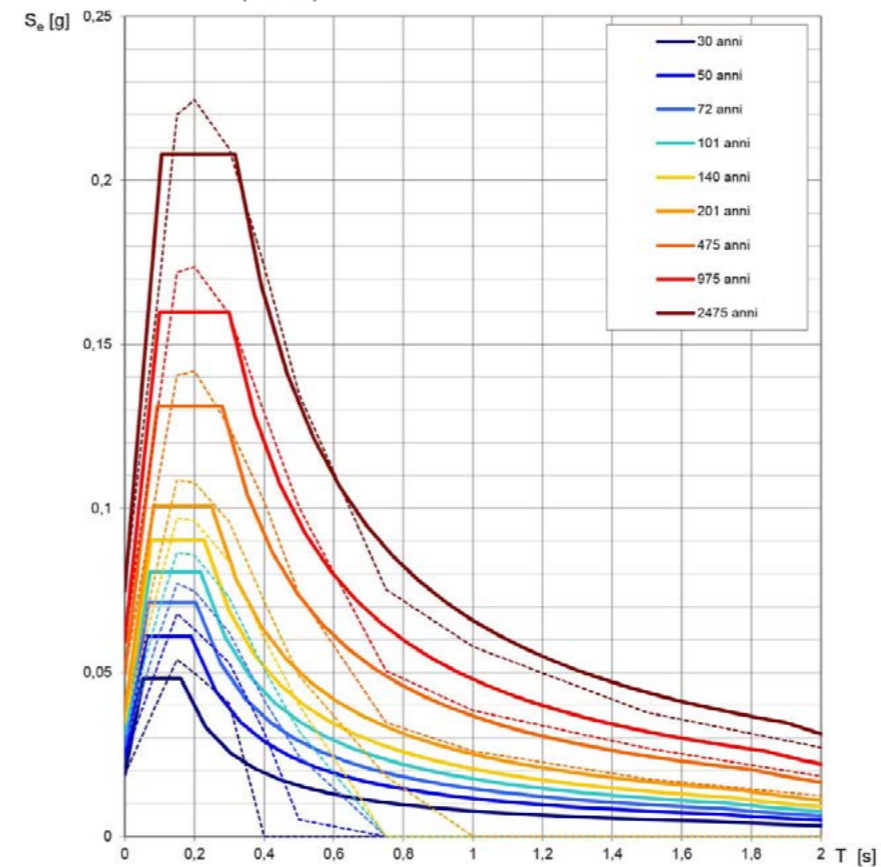


Fig.294 Estratto dal software: Fase 1-individuazione della pericolosità del sito.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,019	2,555	0,160
50	0,024	2,548	0,190
72	0,028	2,570	0,204
101	0,031	2,579	0,217
140	0,035	2,600	0,228
201	0,038	2,628	0,249
475	0,049	2,657	0,280
975	0,059	2,696	0,299
2475	0,075	2,783	0,316

Fig.295 Estratto dal software: Valori dei parametri a_g , F_o e T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

In tal sede verranno presi in considerazione i risultati riferiti ad un periodo di ritorno dell'azione sismica T_{br} , espresso in anni, definito in riferimento all' *Allegato A delle NTC*: $T_R = \frac{V_R}{\ln(1-PVR)}$.



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig.296 Estratto dal software: spettri di risposta per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

In base al § 3.2 delle nuove *Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/1/2008* è possibile stimare il valore del periodo di riferimento V_R relativo al progetto in esame.

La normativa stabilisce che “Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U ”.

$$V_N = V_R * C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in *Tab.2.4.II*.

Tab.257 Tab. 2.4.II, valori del coefficiente d'uso C_U , NTC.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per edifici civili è possibile ottenere la classe d'uso facendo riferimento all' *NTC*, § 2.4.2, dove viene stabilito che “In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso”. La classe d'uso a cui si fa riferimento nel caso in esame è la II, che comprende le seguente tipologia edilizia:

- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è definita nel § 2.4.1 delle *NTC* come “il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordi-

narìa, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata “. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.1. e nel caso in oggetto si considera $V_N=50$.

Tab.258 Tabella 2.4.1,vita nominale VN per diversi tipi di opere, NTC.

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1 Opere provvisorie – Opere provvisionali- Strutture in fase costruttiva1	≥ 10
2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3 Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

In funzione di questi dati il periodo di riferimento per la costruzione risulta essere pari a $V_R=50$.

La probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} dipende dallo stato limite ultimo o di esercizio scelto.

In particolare, con riferimento al § 3.2.1 delle NTC viene esplicitato che ai fini dell’analisi dell’azione sismica devono essere considerati gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le ap-

parecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi;

- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell’interruzione d’uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l’azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.1..

Tab.259 Tabella 3.2.1 ,probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato, NTC.

Stati Limite	PVR :Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio SLO	81%
Stati limite di esercizio SLD	63%
Stati limite ultimi SLV	10%
Stati limite ultimi SLC	5%

In mancanza di ulteriori indicazioni in merito, in base a quanto esplicitato nelle NTC, § 7.1, se si verifica la struttura allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), si considera conseguito anche il rispetto di tutti gli stati limite ultimi, e, allo stesso modo, verificandola al solo stato limite di danno (SLD), la si può considerare rispettosa nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio.

Si considerano dunque le condizioni che verranno riportate nella tabella visibile qui di seguito.

Tab.260 V_R, P_{VR}, T_R associati agli stati limite considerati.

	V_R anni	P_{VR}	T_R anni
SLD	50	0,63	50,29
SLV	50	0,1	474,56

Si fa riferimento inoltre ai parametri a_g, F_o, T_C^* , associati a un tempo di ritorno di riferimento T_R di 50 anni (SLD) e 475 anni (SLV). Questi calcoli vengono giustificati nella FASE 2 del software, dove è possibile ricavare la dipendenza tra le forme spettrali elastiche e i diversi stati limite, come riportato di seguito:



Fig.297 Estratto dal software: Fase 2-scelta della strategia di progettazione.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,019	2,555	0,160
SLD	50	0,024	2,548	0,190
SLV	475	0,049	2,657	0,280
SLC	975	0,059	2,696	0,299

Fig.298 Estratto dal software: Valori dei parametri a_g, F_o e T_C per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL.

Una volta determinati i valori di T_R riferiti a tutti i diversi stati limite è possibile ottenere le forme dello spettro di risposta di progetto per il sito, costruzione, situazione d'uso, e stato limite considerati.

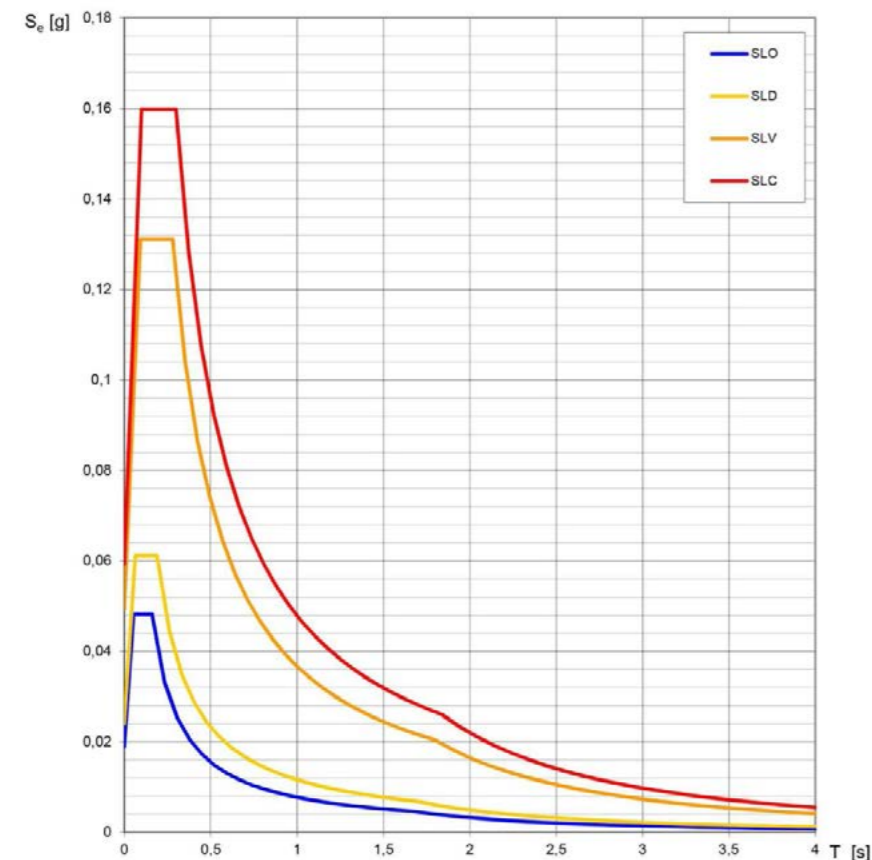


Fig.299 Estratto dal software: spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite.

In riferimento al § 3.2.3.2.1 delle NTC si ricava lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali, cioè lo spettro di progetto che permetterà di determinare l'entità delle forze agenti sulle singole masse.

I calcoli seguenti saranno effettuati tramite software.

Per ogni probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} scelta, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$0 \leq T \leq T_B$	$S_e(T) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T \leq T_c$	$S_e(T) = a_g S \eta F_0$
$T_c \leq T \leq T_D$	$S_e(T) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c T_D}{T^2} \right)$

Fig.300 Espressioni che definiscono lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale.

Dove:

T è il periodo del modo di vibrare principale (T_1) della struttura;

S_e è l'accelerazione spettrale orizzontale, ossia l'accelerazione orizzontale agente sulla struttura, funzione di T ;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_s * S_T$ dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

Dalla Tab. 3.2.IV NTC-08 si definiscono invece le condizioni topografiche per la caratterizzazione dei terreni, per configurazioni superficiali semplici.

Tab.261 Tabella 3.2.IV, categorie topografiche, NTC.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Il coefficiente di amplificazione topografica, S_T , calcolato in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento, è valutabile tramite la Tab. 3.2.VI definite nel § 3.2.2 delle NTC-08.

Tab.262 Tabella 3.2.VI, valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T , NTC.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Riferendosi alla Tab. 3.2.II delle NTC D.M. 14/1/2008 si individua la categoria di sottosuolo di riferimento necessaria per la definizione dell'azione sismica.

Tab.263 Tabella 3.2.II, categorie di sottosuolo, NTC.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dalla *Tab. 3.2.V* delle *NTC D.M. 14/I/2008* è possibile ricavare la formula per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica di S_s .

Si ottengono dunque i seguenti risultati:

Tab.264 Coefficienti di amplificazione stratigrafica.

	S_s	S_T	S
SLD	$1,696 > 1,5 \rightarrow S_s = 1,5$	1	1,5
SLV	$1,692 > 1,5 \rightarrow S_s = 1,5$	1	1,5

Il coefficiente η considera le capacità dissipative delle costruzioni alterando lo spettro di risposta assunto a riferimento. Considerando $\eta = 1$ viene definito lo spettro di risposta elastico con smorzamento viscoso convenzionale $\xi = 5\%$, mediante la seguente relazione: $\eta = \frac{10}{(5 + \xi)^2} \geq 0,55$. Dove ξ (espresso in percentuale)

è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione. Questa relazione può essere utilizzata per costruzioni che non subiscono significativi danneggiamenti e può essere utilizzata nel campo di smorzamenti convenzionali compresi tra i valori $\xi = 5\%$ e $\xi = 28\%$.

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2; nel caso in esame F_o è pari a 2,548 per l'SLD, e a 2,657 per l'SLV;

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, ottenuto tramite la formula : $T_c = C_c * T_c^*$.

Dove:

T_c^* è stato definito nei punti precedenti;

C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo e di T_c^* ricavabile fa-

cendo riferimento alla *Tabella 3.2.V* . Si ottengono dunque i seguenti valori:

Tab.265 Valore di T_c .

	T_c^*	C_c	T_c
			s
SLD	0,19	1,82	0,345
SLV	0,28	1,59	0,448

T_b è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, pari a un terzo di T_c ; si ottiene dunque:

Tab.266 Valore di T_b .

	T_c	T_b
	s	s
SLD	0,345	0,115
SLV	0,448	0,149

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4 * (ag/g) + 1,6$$

Tab.267 Valore di T_D .

	ag	G	T_D
	g	m/s ²	s
SLD	0,024		1,61
SLV	0,049	9,8	1,62

Si ottiene quindi un valore di T (dove T fa riferimento al periodo del modo di vibrare proprio della struttura calcolato inizialmente, T_1) compreso tra T_c e T_D , sia per lo stato limite di danno che per lo stato limite di salvaguardia della vita. Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale $S_e(T)$ sarà quindi calcolato con l'utilizzo della terza espressione.

7.10.2.1 SPETTRI DI PROGETTO SLU_SLV

Per il dimensionamento o la verifica di una struttura , le capacità dissipative della stessa possono essere tenute in considerazione operando una riduzione delle forze elastiche, che tiene presente in maniera semplificata della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovreresistenza e dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. Dunque lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare per le componenti orizzontali è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formulazione di $S_e(T)$ η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura, assunto maggiore dell'unità. Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati, e tiene conto delle non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione: $q = q_o * K_R$.

Dove:

q_o è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_v/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza.

È possibile determinare la componente orizzontale dell'azione sismica considerando un valore del fattore $q_o = 4$, definito utilizzando la Tabella presente al § 7.5.2.2 delle *Norme Tecniche di Costruzione D.M. 14/I/2008*. Per ciascuna tipologia strutturale il valore massimo di riferimento per q_o è indicato in *Tab. 7.5.II*. riportata di seguito:

Tab.268 Fattore di struttura in relazione alla tipologia strutturale.

TIPOLOGIA STRUTTURALE	q_o	
	CD "B"	CD "A"
a) Strutture intelaiate	4	$5\alpha_v/\alpha_1$
c) Strutture con controventi eccentrici		
b1) Controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4	4
b2) Controventi concentrici a V	2	2,5
d) Strutture a mensola o a pendolo inverso $2\alpha_v/\alpha_1$	2	$2\alpha_v/\alpha_1$
e) Strutture intelaiate con controventi concentrici $4\alpha_v/\alpha_1$	4	$4\alpha_v/\alpha_1$
f) Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2	2

Dall'espressione: $S_e(T) = a_R S \eta F_o \left(\frac{T_c T_D}{T^2} \right)$ Si ottiene il seguente valore:

Tab.269 Valore dello spettro di progetto.

a_R	S	F_o	T_c	T_1	q_o	K_R	q	$\eta = 1/q$	$S_d(T)$
g			s	s					g
0,049	1,5	2,657	0,28	0,6	4	1	4	0,25	0,036

7.10.2.2 SPETTRI DI PROGETTO SLE_SLD

In base a quanto esplicitato al § 3.2.3.4 delle NTC per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare per le componenti orizzontali è lo spettro elastico corrispondente $S_e(T)$, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata. Si ottiene dunque: $S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_c T_D}{T^2}\right)$

Quando si considera l'analisi lineare per sistemi non dissipativi, come nel caso degli stati limite di esercizio, l'azione sismica è valutata riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura $q=1$. Con $\eta = 1/q = 1$, si ha:

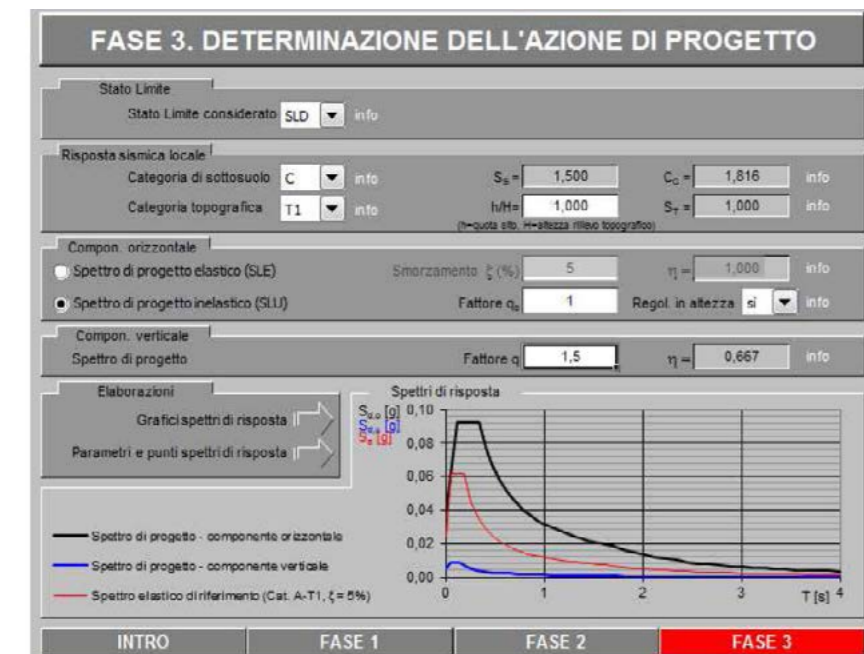


Fig.301 Estratto dal software: Fase 3-Determinazione dell'azione di progetto SLD.

Tab.270 Valore dello spettro elastico.

a_g	S	F_0	T_c	T_l	q_0	K_R	q	$\eta = 1/q$	$S_e(T)$
g			s	s					g
0,024	1,5	2,55	0,345	0,6	1	1	1	1	0,053

I risultati ottenuti vengono confermati tramite l'utilizzo del software:

- Stato limite di danno_SLD (SLE);
- Stato limite di danno_SLV (SLU).

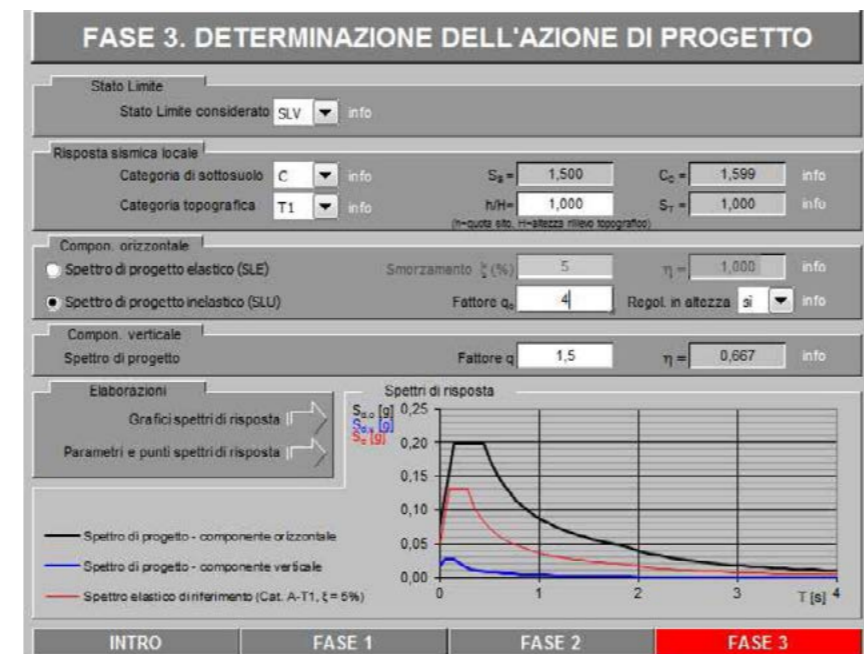


Fig.302 Estratto dal software: Fase 3-Determinazione dell'azione di progetto SLV.

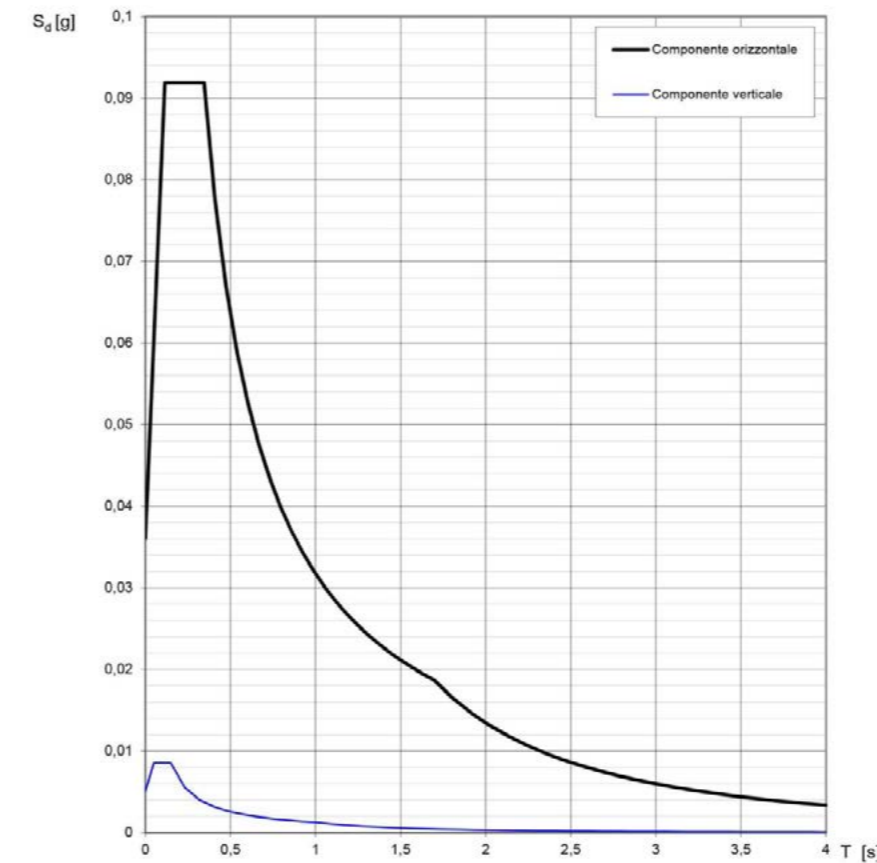


Fig.303 Estratto dal software: spettri di risposta (orizz. e vert.) elastici per lo stato limite SLD.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,024 g
F_0	2,549
T_c	0,190 s
S_s	1,500
C_c	1,816
S_g	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,115 s
T_c	0,345 s
T_D	1,696 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0,000	0,036
0,115	0,092
0,345	0,092
0,410	0,077
0,474	0,067
0,538	0,059
0,603	0,053
0,667	0,048
0,731	0,043
0,796	0,040
0,860	0,037
0,924	0,034
0,989	0,032
1,053	0,030
1,117	0,028
1,182	0,027
1,246	0,025
1,310	0,024
1,374	0,023
1,439	0,022
1,503	0,021
1,567	0,020
1,632	0,019
1,696	0,019
1,806	0,017
1,916	0,015
2,025	0,013
2,135	0,012
2,245	0,011
2,354	0,010
2,464	0,009
2,574	0,008
2,684	0,007
2,793	0,007
2,903	0,006
3,013	0,006
3,122	0,006
3,232	0,005
3,342	0,005
3,451	0,005
3,561	0,004
3,671	0,004
3,781	0,004
3,890	0,004
4,000	0,003

Fig.304 Estratto dal software: parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per SLD.

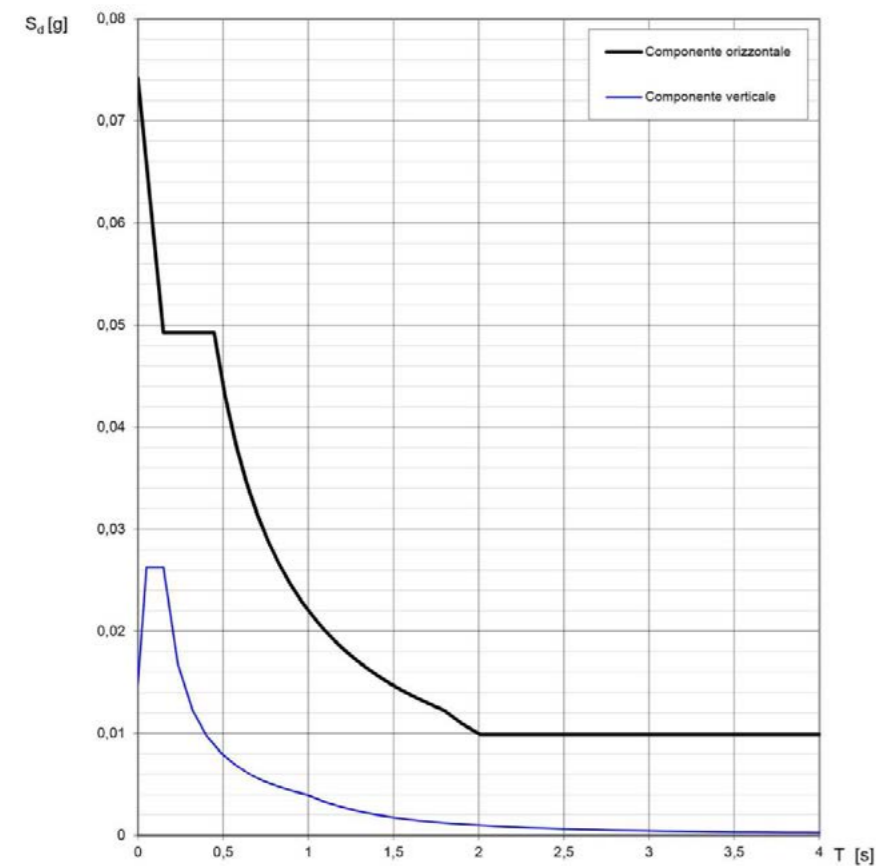


Fig.305 Estratto dal software: spettri di risposta (orizz. e vert.) elastici per lo stato limite SLV.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,049 g
F_0	2,656
T_C	0,260 s
S_S	1,500
C_C	1,599
S_T	1,000
q	4,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	0,250
T_B	0,149 s
T_C	0,447 s
T_D	1,798 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0,000	0,074
0,149	0,049
0,447	0,049
0,511	0,043
0,576	0,038
0,640	0,034
0,704	0,031
0,769	0,029
0,833	0,026
0,897	0,025
0,962	0,023
1,026	0,021
1,090	0,020
1,155	0,019
1,219	0,018
1,283	0,017
1,348	0,016
1,412	0,016
1,476	0,015
1,540	0,014
1,605	0,014
1,669	0,013
1,733	0,013
1,798	0,012
1,903	0,011
2,007	0,010
2,112	0,010
2,217	0,010
2,322	0,010
2,427	0,010
2,532	0,010
2,637	0,010
2,742	0,010
2,846	0,010
2,951	0,010
3,056	0,010
3,161	0,010
3,266	0,010
3,371	0,010
3,476	0,010
3,581	0,010
3,685	0,010
3,790	0,010
3,895	0,010
4,000	0,010

Fig.306 Estratto dal software: parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per SLV.

7.10.3 AZIONE SISMICA ORIZZONTALE

La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = F_h \left[\frac{z_i \cdot W_i}{\sum_j (z_j \cdot W_j)} \right]$$

Dove:

$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda \cdot g$ rappresenta la risultante di una distribuzione di forze di piano

F_i è la forza da applicare alla massa i-esima;

W_i e W_j sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione delle masse i e j;

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

W è il peso globale della costruzione;

λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2T_C$ pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità.

Il peso globale della costruzione si ricava invece in base al § 3.2.3.5 delle *NTC-08* attraverso la seguente formula:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Al fine della valutazione delle spinte dovute all'azione sismica agente ad ogni piano è necessario effettuare il calcolo della massa dell'edificio. Questa è stata valutata suddivisa per piani, ovvero scomponendo i carichi degli elementi strutturali, portati e accidentali.

La suddivisione della superficie verticale in aree di influenza è effettuata operan-

do la somma di mezzo piano superiore e mezzo piano inferiore, rispetto all'im-palcato del piano. L'area di influenza del primo piano, invece, risulta essere superiore, poichè approssimabile a tre mezzi piani, mentre quella della copertura è inferiore, in quanto è di mezzo piano sommato solo al muretto di contenimento.

MASSE STRUTTURALI

Il calcolo delle masse delle travi è stato effettuato misurando lo sviluppo lineare di ciascuna tipologia di trave, moltiplicandolo per il proprio peso al metro lineare.

Il calcolo delle masse dei pilastri è stato invece distribuito considerando il peso proprio in kN incidente lungo gli interassi di piano, moltiplicato per il numero dei pilastri.

Inoltre è stato aggiunto il peso della lamiera grecata collaborante espresso in kN/m³ moltiplicato per la superficie orizzontale interessata dalla stessa.

Per i piani interessati dalla tecnologia a moduli prefabbricati è stato valutato il peso di un modulo, dato dalla somma di tutti gli elementi strutturali che lo costituiscono (travi e pilastri), e in seguito tale valore è stato moltiplicato per il numero di moduli presenti nel piano.

Di seguito viene riportato un esempio di calcolo relativo all'area di influenza del livello +1 nella quale è presente la tecnologia in calcestruzzo armato sia quella in moduli prefabbricati.

Per la tecnologia in calcestruzzo armato:

Tab.271 Pesì per la tecnologia in c.a.

LIVELLO +1						
ELEMENTO ORIZZ.	N	L	L _{tot}	ρ _{cls}	PESO	PESO
		m	m	m ³	kN/m	kN
TRAVI PRINCIPALI	6	6,2	37,5	25,5	5,42	203,20
TRAVI PRINCIPALI	13	3	40	25,5	5,42	216,75
TRAVI VANO SCALA	1	4,8	5	25,5	5,42	27,094
TRAVI PRINCIPALI	1	4,56	5	25,5	5,42	27,094
ELEMENTO VERTICALE	A	H	δ	PESO	N.	PESO
	m ²		kN/m ³	kN/pil.		kN
SETTI VANO SCALA	2,4	4	25,5	245	1	245
PILASTRO	0,12	2	25,5	6,5	34	0,19
ELEMENTO SUPERFICIE	PESO	V	PESO			
	m ³	m ³	kN			
LAMIERA COLLABORANTE	228	135	30780			
SOMMA PESI STRUTTURALI LIVELLO +1						31499,33

Per la tecnologia in moduli prefabbricati di dimensioni 6x3 m²:

Tab.272 Pesì per la tecnologia in moduli prefabbricati 6x3 m².

ELEMENTO ORIZZ.	N.	L	L _{tot}	ρ _{acciaio}	PESO	PESO
		m	m	kN/m ³	kN/m	kN
TRAVE (T1)	2	6,57	16,44	77,11	0,62	10,14
TRAVE (T1)	2	3,3	6,6	77,11	0,62	4,07
PROFILI C SOLAIO	10	3,3	33	77,11	0,03	1,02

ELEMENTO VERT.	A	H _{interp}	δ	PESO	N.	PESO
	m ²	m	kN/m ³	kN/pil.		kN
PILASTRO 1	0,007	1,75	77,11	0,94	4	3,78
ELEMENTO SU- PERFICIE	PESO	A	PESO			
	kN/m ²	m ²	kN			
LAMIERA ORIZZ.	0,0939	21,64	2,03			
LAMIERA VERT.	0,471	34,545	16,27			
PESO MODULO LIV +1	N.MODULO	PESO TOT				
kN		kN				
335,81	9	37,31				
SOMMA PESI STRUTT.LIV +1					kN	31895,62

Per la tecnologia in moduli prefabbricati di dimensioni 3x3 m²:

Tab.273 Pesì per la tecnologia in moduli prefabbricati 3x3 m².

ELEMENTO ORIZZ.	N.	L	L _{tot}	ρ _{acciaio}	PESO	PESO
		m	m	kN/m ³	kN/m	kN
TRAVE (T1)	4	3,3	13,2	77,11	0,62	8,14
PROFILI C SOLAIO	10	3,3	33	77,11	0,031	1,02
ELEMENTO VERT.	A	H _{interp}	δ	PESO	N.	PESO
	m ²	m	kN/m ³	kN/pil.		kN
PILASTRO 1	0,007	1,75	77,11	0,94	4	3,78

ELEMENTO PERFICIE	SU- PESO	A	PESO
	kN/m ²	m ²	kN
LAMIERA ZONTALE	0,094	11	1,03
LAMIERA VERTICALE	0,47	34,55	16,27
CALE	PESO CONTAINER LIV +1	N.CON- TAINER	SOMMA PESO
kN			kN
60,485306	2	30,24	
SOMMA PESI STRUTT.LIV1			kN 31895,62

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva relativa al calcolo delle masse strutturali di tutti i piani:

Tab.274 Masse strutturali per livello.

LIVELLO	G ₁
	kN
-1	113292,227
0	71305,906
+1	31920,180
+2	689,683
+3	583,104
+4	571,769
+5	208,967

MASSE NON STRUTTURALI

Dalla precedente analisi dei carichi è stato ricavato il peso relativo ad un m² di superficie dei pesi degli elementi tecnologici, successivamente moltiplicato per la superficie di interesse per ogni piano.

Nella tabella seguente si riportano i calcoli relativi al livello +1:

Tab.275 Masse non strutturali livello +1.

	PESO	H _{INTERP}	L	PESO
PACCHETTO	kN/m ²	m	m	kN
C.V.08_SERRA	0,4	1,5	2,4	1,44
CV01	1,03	1,75	60,15	108,42
CV03	0,91	1,75	7	11,15
CV04	0,86	1,75	24,7	37,17
CV05	1,03	2	139,8	287,99
C.V.09_CORNICI	0,08	1,5	54	6,48
	PESO [kN/m2]	A [m2]	PESO [kN]	
PACCHETTO	kN/m ²	m	kN	
CO03	0,9	138,56	124,70	
PO02	1,19	183,99	218,95	
PO03	0,65	35,73	23,22	
PV01	1,2	227,37	272,84	
PV02	0,8	227,37	181,90	
PV04	0,8	227,37	181,90	
PV05	0,8	227,37	181,90	
C.O.05_SERRRA	0,66	53,1	35,05	
SOMMA PESI PACCHETTI LIVELLO +1			1673,10	

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva relativa al calcolo delle masse non strutturali di tutti i piani:

Tab.276 Masse non strutturali per livello.

LIVELLO	G_2
	kN
-1	2023,54
0	1413,84
+1	1673,10
+2	1218,35
+3	1131,59
+4	1118,61
+5	1068,13

Alle masse strutturali sopra riportate sono già stati aggiunti, per ogni piano, anche i pesi relativi agli elementi cornici e agli elementi serra.

Poiché anch'essi modulari, tali elementi sono stati scorporati nei diversi componenti strutturali e i valori dei pesi relativi sono stati calcolati in modo analogo a quanto fatto sopra.

MASSE RELATIVE AI SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

I sovraccarichi accidentali, durante l'analisi delle masse necessaria al calcolo delle azioni sismiche, devono tener conto dei coefficienti di sicurezza descritti dalla *Tabella 2.5.I* delle *NTC*. come mostrato di seguito.

Tab.277 Sovraccarichi accidentali.

LIVELLO	ψ_{2i}	q_{ki}	$A_{LIVELLO}$	Q
		kN/m ²	m ²	kN
-1	0,8	6	620,25	2977,2
0	0,6	4	391,5	939,6
+1	0,6	4	81,5	195,6
	0,3	2	222,7	133,62
+2	0,6	4	81,5	195,6
	0,3	2	222,7	133,62
+3	0,6	4	81,5	462
	0,3	2	192,5	72
+4	0,6	5	120	360
	0,6	4	81,5	195,6
	0,3	2	72,5	43,5
+5	0	0,5	270,75	0

Di seguito si riporta la tabella di calcolo dei sovraccarichi accidentali di tutti i piani:

Tab.278 Sovraccarichi accidentali per livello.

LIVELLO	Q
	kN
-1	2977,200
0	939,600
+1	329,220
+2	329,220
+3	534,000
+4	599,100
+5	0,000

Inserendo i valori dei carichi degli elementi strutturali, portati e accidentali, suddivisi per piani, nella seguente formula è possibile ottenere i valori delle masse ad ogni piano. Effettuando in seguito la somma dei risultati ottenuti per piano è possibile ricavare il peso dell'intero edificio: $G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$.

Tab.279 Peso totale di ogni piano.

LIVELLO	G_1	G_2	Q	PESO TOT.
	kN	kN	kN	kN
+5	113292,227	2023,543	2977,200	118292,97
+4	71305,906	1413,841	939,600	73659,35
+3	31920,180	1673,104	329,220	33922,50
+2	689,683	1218,347	329,220	2237,25
+1	583,104	1131,590	534,000	2248,70
+0	571,769	1118,610	599,100	2289,48
-1	208,967	1068,130	0,000	1277,10
		MASSA EDIFICIO W		237495,96

Nel calcolo del peso dell'intero edificio è stato opportunamente inserito anche il peso del solaio relativo al livello-2.

I valori così ottenuti sono stati utilizzati per calcolare rispettivamente la risultante della distribuzione delle forze di piano F_h e la forza da applicare a ciascuna massa della costruzione F_v , in base alle formule precedentemente descritte. Di seguito sono riportati i risultati e una schematizzazione grafica rispettivamente all' SLD e all' SLV:

Tab.280 Risultato della forza sismica orizzontale agente per piano allo SLD.

LIVELLO	F_i	F_h	Z_i	W_i	$\sum(Z_i * W_i)$
+5	22,540	1086,23	27,5	1277,097	35120,157
+4	33,795	1086,23	23	2289,480	52658,032
+3	27,853	1086,23	19,3	2248,694	43399,796
+2	22,686	1086,23	15,8	2237,249	35348,538
+1	266,694	1086,23	12,25	33922,504	415550,673
+0	390,006	1086,23	8,25	73659,347	607689,615
-1	322,654	1086,23	4,25	118292,970	502745,122

Tab.281 F_h : risultante di una distribuzione di forze di piano allo SLD.

F_h	$S_e(T1)$	W	λ	g
	g			m/s ²
1086,23	0,053	237495,96	0,85	9,8

Tab.282 Risultato della forza sismica orizzontale agente per piano allo SLV.

LIVELLO	F_i	F_h	Z_i	W_i	$\sum(Z_i * W_i)$
-1	15,555	749,621	27,5	1277,0966	35120,16
0	23,322	749,621	23	2289,4796	52658,03
+1	19,222	749,621	19,3	2248,6941	43399,80
+2	15,656	749,621	15,8	2237,2492	35348,54
+3	184,049	749,621	12,25	33922,504	415550,67
+4	269,148	749,621	8,25	73659,347	607689,61
+5	222,668	749,621	4,25	118292,97	502745,12

Tab.283 F_h : risultante di una distribuzione di forze di piano allo SLV.

F_h	$S_g (T1)$	W	λ	g
	g			m/s^2
749,62	0,036	237495,96	0,85	9,8

I relativi grafici non riportano un andamento regolare triangolare e ciò è imputabile al cambio di tecnologia. Infatti per i livelli interrati e per il livello +1 si ricorre all'uso della tecnologia in calcestruzzo armato, mentre per rimanenti piani fuori terra si ricorre ad una tecnologia leggera in moduli prefabbricati in acciaio.

Anche per il livello di copertura è possibile fare un ragionamento analogo. Infatti il valore del peso della stessa è tanto inferiore che, seppur moltiplicato per una altezza relativa maggiore, non è sufficiente ad eguagliare e superare i valori relativi ai pesi dei piani intermedi per le relative altezze.

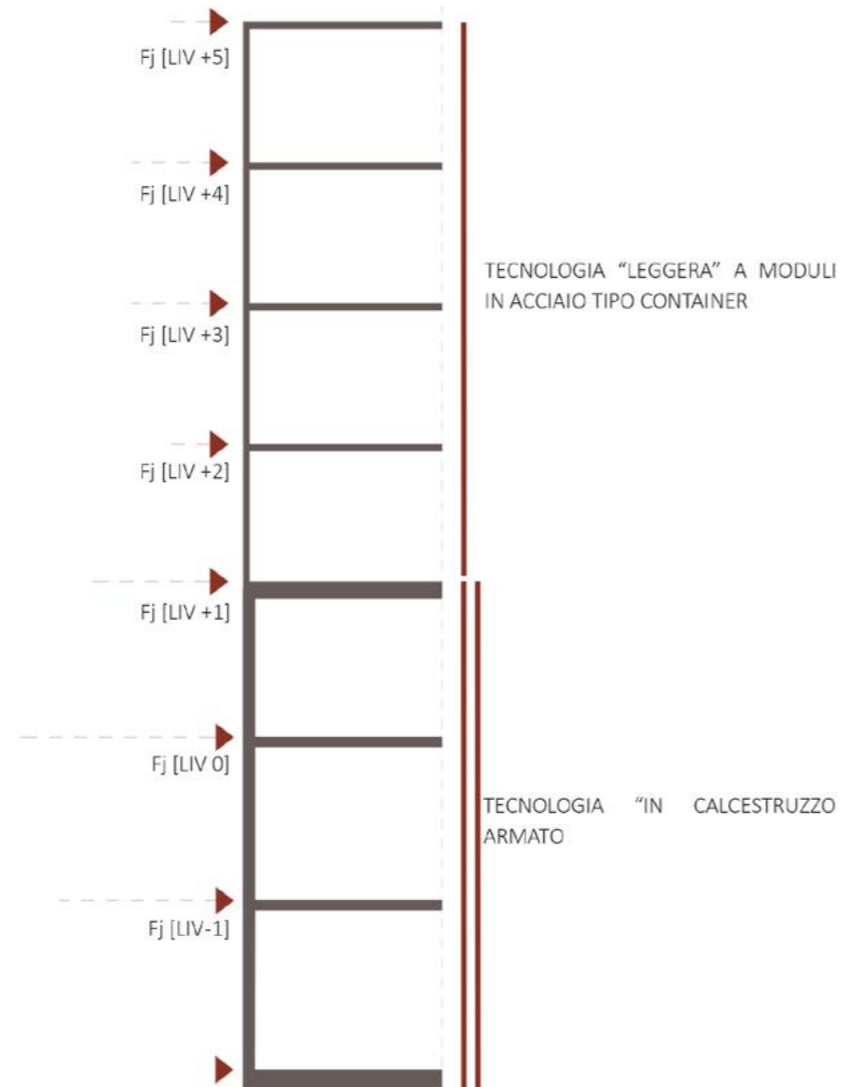


Fig.307 Azione orizzontale del sisma per ogni livello.

7.11 SPOSTAMENTI ORIZZONTALI CONTROVENTO

L'obiettivo del presente capitolo è la verifica degli spostamenti orizzontali dell'edificio sotto l'azione orizzontale del vento.

Si è scelto di utilizzare come elementi controventati dell'edificio, tre setti, corrispondenti alle pareti del vano scale [Rif. Figura 309].

E' possibile utilizzare il procedimento seguente poiché si ipotizza di avere un solaio infinitamente rigido che garantisca l'effetto diaframma, ottenuto grazie ai tiranti posti alla base dei moduli ed alle connessione tra essi o tra gli stessi ed il vano scale o con gli altri elementi in calcestruzzo presenti.

7.11.1 BARICENTRO GEOMETRICO

Innanzitutto si calcola del baricentro geometrico dell'edificio, ovvero il punto dove verrà applicata la forza orizzontale in esame. Poiché l'edificio ha la forma di "L", per il calcolo del baricentro, esso è stato scomposto in due rettangoli. Inoltre, poiché il fabbricato in oggetto non è regolare in altezza, è stato necessario ripetere il calcolo per tre piani tipo identificati come nell'immagine sottostante. Per quanto riguarda la suddivisione in piani con "livello 0" si intende il solaio alla quota stradale e con "livello +5" il piano di copertura.

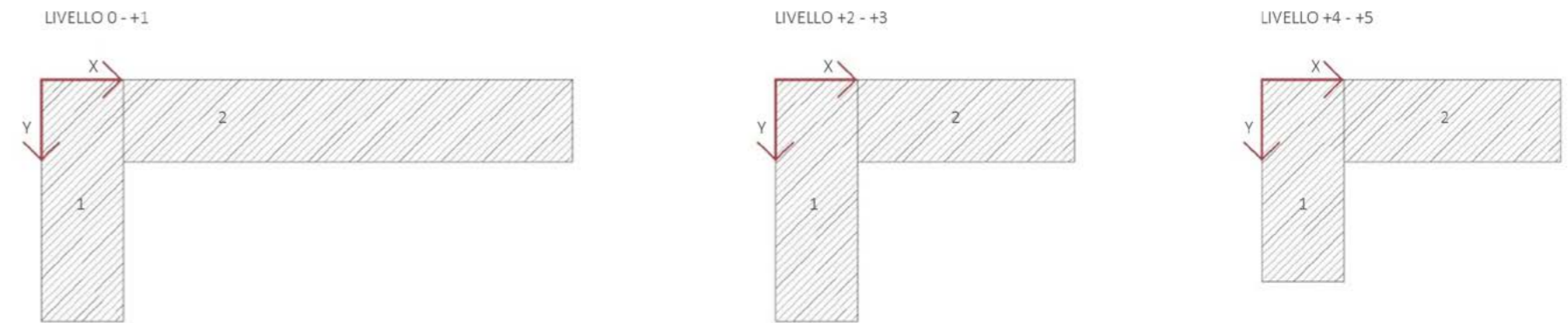


Fig.308 Sistema di riferimento utilizzato per il calcolo del baricentro geometrico di piano.

La formula delle coordinate del baricentro utilizzata quindi è:

$$x_g = \frac{\sum_i S_{xi}}{\sum_i A_i} = \frac{\sum_i x_{gi} A_i}{\sum_i A_i};$$

$$y_g = \frac{\sum_i S_{yi}}{\sum_i A_i} = \frac{\sum_i y_{gi} A_i}{\sum_i A_i}.$$

Dove:

x_{gi} e y_{gi} sono le coordinate del baricentro del singolo rettangolo che compone l'edificio;

S_{xi} e S_{yi} sono il momento statico in x e in y del rispettivo rettangolo;

A_i è l'area del rettangolo considerato.

Considerando il sistema di riferimento ed i rettangoli sopra rappresentati si ottiene:

Tab.284 Baricentro geometrico di piano.

LIVELLO 0-1				LIVELLO 2-3				LIVELLO 4-5			
RETTANGOLO		1	2	RETTANGOLO	1	2	RETTANGOLO	1	2		
b_i	m	7,00	38,17	b_i	m	7,00	18,40	b_i	m	7,00	18,40
h_i	m	20,50	7,00	h_i	m	20,50	7,00	h_i	m	17,20	7,00
A_i	m ²	143,50	267,19	A_i	m ²	143,50	128,80	A_i	m ²	120,40	128,80
y_{gi}	m	10,25	3,50	y_{gi}	m	10,25	3,50	y_{gi}	m	8,60	3,50
x_{gi}	m	3,50	26,09	x_{gi}	m	3,50	16,2	x_{gi}	m	3,50	16,2
S_{xi}	m ³	1470,88	935,17	S_{xi}	m ³	1470,875	450,8	S_{xi}	m ³	1035,44	450,8
S_{yi}	m ³	502,25	6969,65	S_{yi}	m ³	502,25	2086,56	S_{yi}	m ³	421,4	2086,56
A_{tot}	m ²	410,69		A_{tot}	m ²	272,30		A_{tot}	m ²	249,20	
$S_{x,tot}$	m ³	2406,04		$S_{x,tot}$	m ³	1921,68		$S_{x,tot}$	m ³	1486,24	
$S_{y,tot}$	m ³	7471,90		$S_{y,tot}$	m ³	2588,81		$S_{y,tot}$	m ³	2507,96	
y_g	m	5,86		y_g	m	7,06		y_g	m	5,96	
x_g	m	18,19		x_g	m	9,51		x_g	m	10,06	

7.11.2 BARICENTRO DELLE RIGIDEZZE

Secondariamente al punto di applicazione della forza orizzontale, è stato necessario calcolare il baricentro delle rigidezze del singolo piano. Esso, se non coincidente con il baricentro geometrico, crea un'eccentricità, la quale causa un momento torcente agente sul piano e sul controvento.

Il baricentro delle rigidezze dipende dagli elementi controventanti del piano. Ognuno di essi ha una rigidezza, rappresentata dall'inerzia dato che non vi è variazione di materiale dei setti trattati. Il baricentro delle rigidezze si collocherà maggiormente vicino al controvento con rigidezza maggiore.

La formula per calcolarne le coordinate è:

$$x_r = \frac{\sum_i x_{gi} I_{xxi}}{\sum_i I_{xxi}};$$

$$y_r = \frac{\sum_i y_{gi} I_{yyi}}{\sum_i I_{yyi}}.$$

Con:

x_{gi} e y_{gi} che sono le coordinate baricentro del singolo controvento;

I_{xx} e I_{yy} sono le rigidezze di ogni setto intorno all'asse x ed intorno all'asse y.

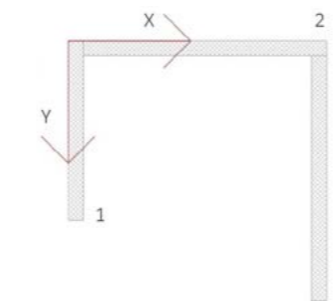


Fig.309 Sistema di riferimento per il calcolo del baricentro delle rigidezze.

Nell'immagine precedente è rappresentata la disposizione geometrica dei controventi ed il sistema di riferimento utilizzato sono i seguenti:

Le dimensioni dei singoli rettangoli sono:

Tab.285 Dimensioni dei singoli controventi.

RETTANGOLO		1	2	3
b_i	m	0,45	4,86	0,45
h_i	m	3,60	0,45	4,90

Di conseguenza le coordinate dei baricentri rispetto al baricentro globale e le inerzie dei rettangoli sopra rappresentati sono:

Tab.286 Rigidezze dei singoli controventi.

RETTANGOLO		1	2	3
y_i	m	1,80	0,23	2,45
x_i	m	10,03	12,68	14,89
I_{xxi}	m ⁴	1,75	0,04	4,41
I_{yyi}	m ⁴	0,03	4,30	0,04

La formula per il calcolo dell'inerzia di un rettangolo è:

$$I_{xx} = \frac{b_i h_i^3}{12};$$

$$I_{yy} = \frac{h_i b_i^3}{12}.$$

Il baricentro delle rigidezze tra i tre controventi così ottenuto è:

Tab.287 Baricentro delle rigidezze.

ΣI_{xxi}	m ⁴	6,20
ΣI_{yyi}	m ⁴	4,37
Y_r	m	0,25
X_r	m	13,50

Poiché il baricentro delle rigidezze ed il baricentro geometrico non coincidono, sui controventi agirà anche il contributo del momento torcente di piano. Le reazioni vincolari sui singoli elementi sono calcolate nel paragrafo seguente.

7.11.3 AZIONI SUL SINGOLO CONTROVENTO

La formula per calcolare le reazioni vincolari sopra citate è la seguente:

$$R_{yi} = F \frac{I_{xxi}}{\Sigma I_{xxi}} + F e_x \frac{\hat{x}_i I_{xxi}}{\Sigma (\hat{y}_i^2 I_{yyi} + \hat{x}_i^2 I_{xxi})} ;$$

$$R_{xi} = F \frac{I_{yyi}}{\Sigma I_{yyi}} + F e_y \frac{\hat{y}_i I_{yyi}}{\Sigma (\hat{y}_i^2 I_{yyi} + \hat{x}_i^2 I_{xxi})} .$$

Dove:

F è la forza esterna orizzontale; si considera la forza del vento poichè presenta un'intensità maggiore rispetto a quella del sisma come riportato nella tabella:

Tab.288 Confronto tra forza del vento e forza del sisma.

F _{tot} SISMA	F _{tot} VENTO
kN	kN
373,55	453,68

d è la distanza tra il baricentro geometrico (punto di applicazione di F) e il baricentro delle rigidezze;

\hat{x}_i è la distanza lungo x tra il baricentro del controvento i-esimo e il baricentro delle rigidezze;

\hat{y}_i è la distanza lungo y tra il baricentro del controvento i-esimo e il baricentro delle rigidezze;

I_{xxi} e I_{yyi} sono le inerzie nelle due direzioni del singolo elemento.

Il termine $\Sigma \hat{x}_i^2 I_{xxi} + \hat{y}_i^2 I_{yyi}$ è l'inerzia torsionale di piano e vale:

Tab.289 Inerzie di piano.

ΣI_{xxi}	m ⁴	6,20
ΣI_{yyi}	m ⁴	4,37
$\Sigma (I_{xxi} x_i^2 + I_{yyi} y_i^2)$		29,86

Utilizzando la forza calcolata nel Paragrafo 7.4.2.2 per ogni piano, si ottiene, considerando tutte le possibili direzioni del vento, la reazione interna al singolo controvento:

Tab.290 Reazioni dei controventi per livello, nelle diverse direzioni e versi della forza orizzontale.

Contro parete N	F _{tot}	F _{tot}	e _x	e _y	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. X	N	kN	m	m	kN	kN	kN
Livello 0	63948,93	63,95	-	5,60	0,91	64,49	1,53
Livello 1	119473,95	119,47	-	5,60	1,70	120,49	2,85
Livello 2	109662,33	109,66	-	6,80	1,74	111,14	2,98
Livello 3	96415,46	96,42	-	6,80	1,53	97,71	2,62
Livello 4	92522,12	92,52	-	5,71	1,33	93,35	2,23

Contro parete E	F _{tot}	F _{tot}	e _x	e _y	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. Y	N	kN	m	m	kN	kN	kN
Livello 0	70401,56	70,40	4,69	-	87,14	0,75	117,72
Livello 1	120831,09	120,83	4,69	-	149,57	1,29	202,04
Livello 2	97754,18	97,75	3,99	-	107,06	0,98	149,44
Livello 3	97698,46	97,70	3,99	-	107,00	0,98	149,35
Livello 4	105470,34	105,47	3,44	-	103,55	1,00	149,22

Contro parete S	F _{tot}	F _{tot}	e _x	e _y	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. X	N	kN	m	m	kN	kN	kN
Livello 0	64169,47	64,17	-	5,60	0,91	64,71	1,53
Livello 1	119890,66	119,89	-	5,60	1,70	120,91	2,86
Livello 2	110045,30	110,05	-	6,80	1,75	111,53	2,99
Livello 3	96798,43	96,80	-	6,80	1,54	98,10	2,63
Livello 4	92935,74	92,94	-	5,71	1,33	93,77	2,24

Contro parete O	F _{tot}	F _{tot}	e _x	e _y	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. Y	N	kN	m	m	kN	kN	kN
Livello 0	70581,09	70,58	4,69	-	87,37	0,76	118,02
Livello 1	121166,72	121,17	4,69	-	149,98	1,30	202,60
Livello 2	98062,62	98,06	3,99	-	107,40	0,98	149,91
Livello 3	97952,23	97,95	3,99	-	107,27	0,98	149,74
Livello 4	105696,52	105,70	3,44	-	103,77	1,00	149,54

Le reazioni vincolari minori sono quelle dei controventi con inerzia molto piccola nella direzione del vento in esame.

7.11.4 SPOSTAMENTO IN SOMMITA'

La misura dello spostamento sulla sommità dell'edificio, dipende dallo schema statico relativo ai controventi.

Nel caso in oggetto essi sono assimilabili ad una mensola orizzontale caricata con un carico distribuito ortogonale ad essa.

La formula che individua lo spostamento è quindi:

$$s_x = \frac{F_x H^4}{3EI_{yy}} ;$$

$$s_y = \frac{F_y H^4}{3EI_{xx}} .$$

Dove

s_x e s_y sono gli spostamenti nelle due direzioni;

F_x e F_y è il carico distribuito derivante dalle reazioni vincolari causate dal vento sui singoli controventi nelle due direzioni;

E=31000 MPa è il modulo elastico del calcestruzzo;

I_{xx} e I_{yy} sono le inerzie considerate;

Per il calcolo della forza distribuita sulla facciata, è sufficiente dividere la reazione vincolare sopra calcolata per l'interpiano su cui agisce.

E' stato scelto di utilizzare la reazione vincolare maggiore per definire il carico distribuito per essere in favore di sicurezza.

Nella pagina seguente si riportano le tabelle con i carichi distribuiti per ogni controvento considerando un'azione orizzontale agente con tutti i possibili versi e direzioni di azione.

Tab.291 Carichi agenti sui controventi per livello, nelle diverse direzioni o versi delle forze orizzontali.

Contro parete N	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}	Inter-piano	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. X	kN	kN	kN	m	kN/m	kN/m	kN/m
Livello 0	0,91	64,49	1,53	3,50	0,26	18,43	0,44
Livello 1	1,70	120,49	2,85	3,50	0,48	34,43	0,81
Livello 2	1,74	111,14	2,98	3,50	0,50	31,75	0,85
Livello 3	1,53	97,71	2,62	3,50	0,44	27,92	0,75
Livello 4	1,33	93,35	2,23	3,50	0,38	26,67	0,64
Contro parete E	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}	Inter-piano	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. Y	kN	kN	kN	m	kN/m	kN/m	kN/m
Livello 0	87,14	0,75	117,72	3,50	24,90	0,22	33,63
Livello 1	149,57	1,29	202,04	3,50	42,73	0,37	57,73
Livello 2	107,06	0,98	149,44	3,50	30,59	0,28	42,70
Livello 3	107,00	0,98	149,35	3,50	30,57	0,28	42,67
Livello 4	103,55	1,00	149,22	3,50	29,59	0,28	42,63
Contro parete S	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}	Inter-piano	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}
Direz. X	kN	kN	kN	m	kN/m	kN/m	kN/m
Livello 0	0,91	64,71	1,53	3,50	0,26	18,49	0,44
Livello 1	1,70	120,91	2,86	3,50	0,49	34,55	0,82
Livello 2	1,75	111,53	2,99	3,50	0,50	31,87	0,85
Livello 3	1,54	98,10	2,63	3,50	0,44	28,03	0,75
Livello 4	1,33	93,77	2,24	3,50	0,38	26,79	0,64
Contro parete O	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}	Inter-piano	F _{cv1}	F _{cv2}	F _{cv3}

Direz. Y	kN	kN	kN	m	kN/m	kN/m	kN/m
Livello 0	87,37	0,76	118,02	3,50	24,96	0,22	33,72
Livello 1	149,98	1,30	202,60	3,50	42,85	0,37	57,89
Livello 2	107,40	0,98	149,91	3,50	30,68	0,28	42,83
Livello 3	107,27	0,98	149,74	3,50	30,65	0,28	42,78
Livello 4	103,77	1,00	149,54	3,50	29,65	0,28	42,73

Infine, applicando la formula sopra descritta si ottengono gli spostamenti:

Tab.292 Spostamenti nelle diverse direzioni o versi delle forze orizzontali.

I _{xx}	m ⁴	1,17	0,01	2,94	
I _{yy}	m ⁴	0,01	2,87	0,01	
CASO	ELEMENTO	1	2	3	
X_contro N	S _x	m	0,0259	0,0117	0,0334
Y_contro E	S _y	m	0,0357	0,0146	0,0191
X_contro S	S _x	m	0,0267	0,0117	0,0335
Y_contro O	S _y	m	0,0358	0,0147	0,0192

Lo spessore di 45 cm dei controventi qui considerato è il risultato di un processo di iterazione per garantire uno spostamento orizzontale minore di H/500.

Lo spostamento massimo in sommità vale quindi $S_{max} = 19,2/500 = 0,0384$ m, verificando il limite imposto.

08

PROGETTAZIONE ERGOTECNICA

8.1 ANALISI DELL'AREA DI PROGETTO

8.1.1 Descrizione dell'area operativa

8.1.2 Caratteristiche geomorfologiche del terreno

8.1.3 Vincoli di sottosuolo, di superficie e aerei

8.1.4 Interazioni fra cantiere e ambiente circostante

8.2 ANALISI DELLA VIABILITA'

8.2.1 Analisi del percorso

8.3 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

8.3.1 Specifiche per il progetto del cantiere

8.3.2 Fasi di cantiere

8.4 CONFRONTO QUALITATIVO FRA TECNOLOGIE

8.4.1 Confronto economico

8.4.2 Confronto tempistico

Nel presente capitolo si espongono le scelte ergotecniche adottate per l'organizzazione delle fasi operative del progetto. In prima analisi si presenta lo studio dell'area di progetto e dei suoi vincoli, effettuato in relazione agli aspetti di realizzazione dell'edificio. La particolare collocazione del lotto, unitamente alla tecnologia prefabbricata, ha richiesto inoltre uno studio della viabilità e dell'accessibilità dei mezzi al sito di costruzione.

Dopo aver inquadrato le problematiche e le condizioni al contorno dell'area, si esplica la conformazione dei layout di cantiere per le principali fasi che caratterizzano lo stesso, analizzandone sia l'organizzazione planimetrica che altimetrica nel totale rispetto della normativa vigente e ponendo particolare attenzione alle condizioni di sicurezza per gli operatori e per gli utenti delle aree in prossimità del cantiere. È importante sottolineare che è stata studiata la condizione operativa più simile alla realtà, affrontata nei suoi aspetti maggiormente critici e restrittivi.

In ultima analisi si spiega che, da un punto di vista ergotecnico, la tecnologia innovativa dei moduli prefabbricati offre molteplici vantaggi. In particolare si espongono i benefici economici e tempistici della soluzione adottata, tramite un confronto con la tecnologia stratificata a secco, applicata al progetto in esame.

8.1 ANALISI DELL'AREA DI PROGETTO

Il cantiere viene talvolta erroneamente considerato un luogo definito dalla recinzione che lo delimita, privo di relazioni con l'ambiente che lo circonda. In realtà, esso, ha molti collegamenti con il contesto circostante, sia per gli elementi di vincolo presenti in quest'ultimo, sia per i reciproci rapporti fra " interno del cantiere " ed esterno.

Per i motivi di cui sopra è pertanto fondamentale conoscere l'area nella quale si installerà il cantiere, prima di procedere alla progettazione dei suoi layout e alle scelte in termini di mezzi, materiali, manodopera e dispositivi/soluzioni di sicurezza da utilizzare.

Di seguito si individueranno ed analizzeranno quindi i vincoli per il progetto del cantiere, con particolare riferimento a:

- descrizione ed ubicazione dei lavori;
- caratteristiche geomorfologiche del terreno;
- vincoli di sottosuolo, di superficie e aerei;
- interazione fra cantiere e ambiente circostante (fisiche, visive, acustiche, olfattive)

I ragionamenti appena esposti seguono quanto sancito dalla normativa in materia di progettazione operativa, riconducibile in buona parte al *D. Lgs. 81/2008*. A questo decreto si farà riferimento anche nel seguito, in quanto definisce la maggior parte delle norme in materia di sicurezza nei cantieri edili.

8.1.1 DESCRIZIONE DELL'AREA OPERATIVA

Come già accennato nei Paragrafi 2.1 l'area di progetto è situata in una zona inserita in un centro urbano fortemente addensato, all'interno del Comune di Milano. La particolarità della posizione risiede inoltre nel fatto che Via Palermo si trova nel quartiere Brera, di particolare pregio e valore sociale, culturale, storico e architettonico. Il sito è accessibile da un'unica strada, corrispondente appunto a Via Palermo, la quale presenta una diramazione cieca in prossimità del fronte Est del lotto [Rif. Tav. 58] Tutto ciò che sarà necessario alla messa in opera del progetto dovrà pertanto giungere allo stesso mediante quest'unica via di accesso, unitamente alla sua via trasversale. Si mostrerà nel seguito un'analisi specifica della viabilità che comprende anche l'accessibilità al comune di Milano, e non solo all'area di progetto [Rif. Paragrafo 8.2 e Tav. 57].

Uno step basilare riguarda il rilievo delle dimensioni relativo alle vie di accesso, con indicazione dei raggi di curvatura realizzabili. Tale analisi è necessaria per la futura scelta dei mezzi di trasporto e delle macchine operatrici. Ovviamente queste scelte dovranno essere compatibili con i vincoli dettati dall'analisi della viabilità eseguita ad una scala maggiore.

La scelta degli strumenti necessari in fase operativa dipende anche dalla conformazione del lotto. Nel caso in oggetto la forma è irregolare e con una larghezza limitata. La superficie degli spazi interrati occupa tutta l'area evidenziata nello schema riportato, mentre l'edificio dei piani fuori terra risulta inferiore, lasciando spazio per la corte interna. Le vie confinanti con il lotto ne delimitano solo due

fronti, mentre gli altri si sviluppano in adiacenza con edifici esistenti di proprietà privata. Gli schemi sottostanti chiariscono i concetti appena esposti.

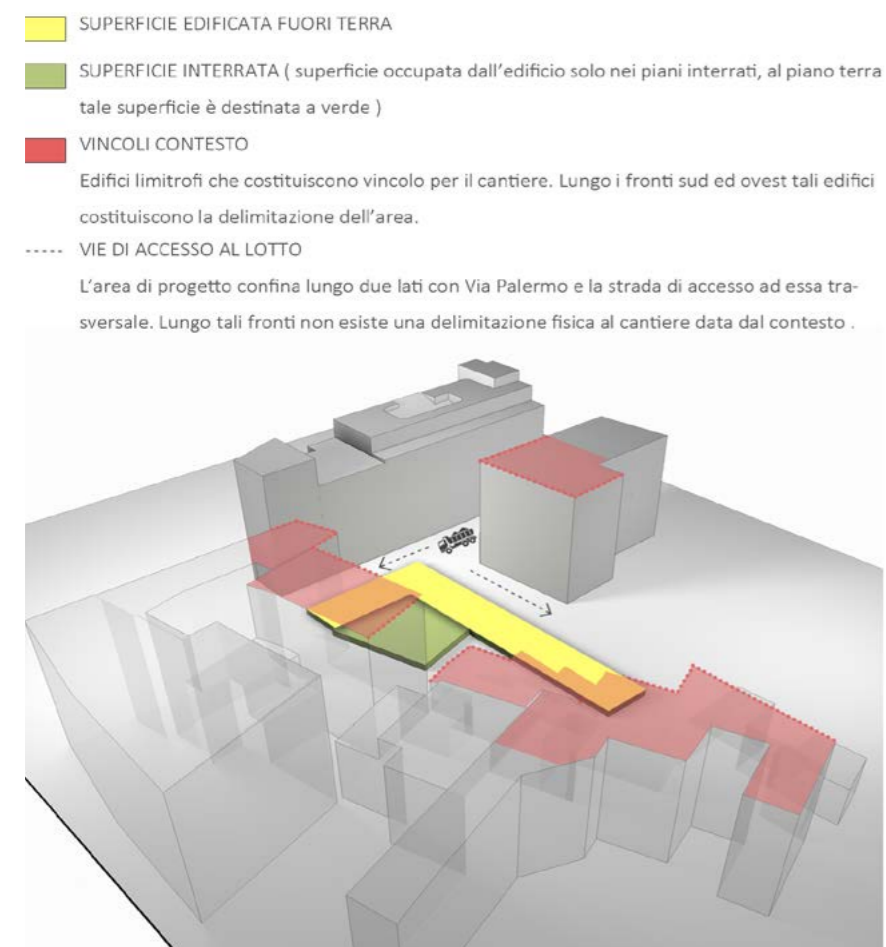


Fig.310 Rapporto fra l'area dei lavori e il sito di progetto.

8.1.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL TERRENO

Le caratteristiche geologiche e morfologiche evidenziano aspetti significativi per la progettazione operativa, con particolare riferimento alle scelte da effettuare per le fasi degli scavi e dei movimenti di terra. E' stato analizzato il tipo di terreno presente nell'area di progetto al Paragrafo 7.1.1. Le informazioni relative alla natura del terreno solo rilevanti soprattutto per l'organizzazione degli scavi in termini di mezzi, procedure e sicurezza. L'edificio occupa tutta la superficie del lotto e, di conseguenza, anche l'area del cantiere avrà il medesimo profilo. Pertanto la natura del terreno, che spesso influenza l'inclinazione dei fronti scavo, nel caso in oggetto deve essere rapportata alla tipologia di consolidamento che si vuole adottare per realizzare dei fronti perfettamente verticali ed in adiacenza con gli edifici esistenti.

CONSOLIDAMENTO DEI FRONTI SCAVO

La realizzazione di fronti scavo verticali in uno spazio limitato, inserito in un ambito urbano, può essere eseguita scegliendo soluzioni differenti. Nel caso in oggetto le specifiche problematiche possono essere così riassunte:

- perimetro del cantiere pressochè coincidente con quello dell'edificio;
- spazi di accesso e di manovra dei mezzi ridotti;
- adiacenza della nuova costruzione ad edifici esistenti;
- rischio di cedimenti presente, seppur modesto.

La falda freatica non costituisce in questo caso un problema in quanto il livello è normalmente compreso fra i 13 m e i 16 m di profondità, al di sotto quindi del

volume interrato dell'edificio. In queste condizioni si ricorre usualmente all'utilizzo di berlinesi di micropali, in sostituzione dei più complessi diaframmi o pali in calcestruzzo armato e fanghi bentonitici. La semplicità del sistema richiede infatti la posa, dal piano campagna, di una cortina di pali o di profili metallici verticali spazati l'uno dall'altro (intervallo variabile 30- 70 cm) . La posa può avvenire sia mediante infissione per vibrazione sia mediante perforazione. Si tratta, in entrambi i casi, di soluzioni meno invasive e compromettenti rispetto a quanto necessario per un diaframma in calcestruzzo.

Durante la successiva fase di scavo, si completa il muro di contenimento tra i pali mediante l'utilizzo di calcestruzzo (spruzzato o gettato in opera) talvolta previa posa di tavolame in legno per ristabilire la continuità della superficie. La stabilità globale della parete è garantita mediante la posa di tiranti o puntonature connesse ai micropali.

In queste circostanze sarebbe necessario eseguire un rilievo delle reti impiantistiche e dei possibili vincoli presenti nel sottosuolo. La documentazione a disposizione non ha mostrato alcun elemento di impedimento. Sarebbe tuttavia prassi necessaria verificare mediante indagine approfondita la situazione reale. Esula tuttavia da questa sede indagare ulteriormente tale ambito.

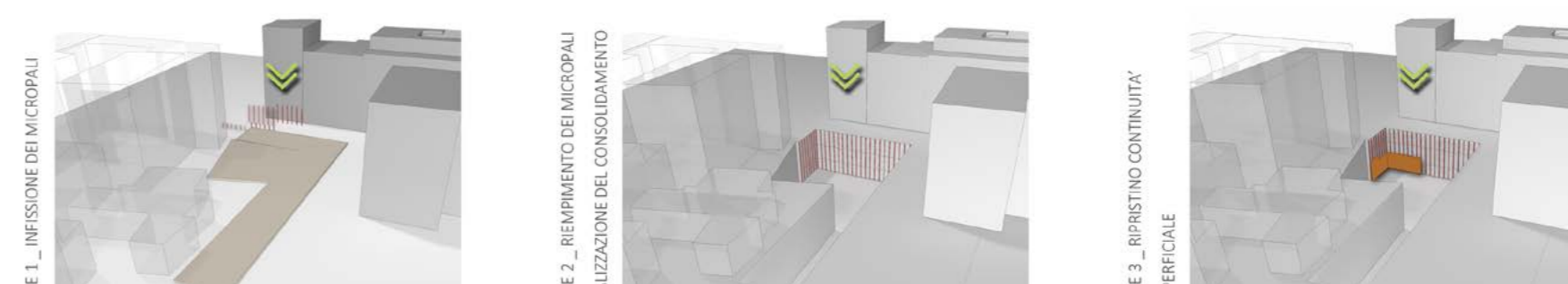


Fig.311 Fasi qualitative delle operazioni di consolidamento dei fronti scavo.

8.1.3 VINCOLI DI SOTTOSUOLO, DI SUPERFICIE E AEREI

L'individuazione dei vincoli, siano essi di sottosuolo, di superficie o aerei, è una fase fondamentale, senza la quale la successiva progettazione del cantiere potrebbe essere seriamente errata o compromessa, soprattutto se tali vincoli sono inamovibili.

Come accennato in precedenza, per i vincoli di sottosuolo in questa sede non è possibile eseguire ulteriori indagini. Per quanto riguarda i vincoli di superficie, ossia quegli elementi preesistenti e/o inamovibili che potrebbero interferire con lo svolgimento dei lavori, si rileva la presenza di un muro lungo parte del perimetro dell'area di progetto e di un piccolo arbusto all'interno del lotto. Questi due elementi costituiscono vincoli preesistenti ma removibili. Differente è invece il caso dell'edificato urbano che circonda il lotto. Si tratta infatti di vincoli inamovibili che condizionano sia in pianta che in alzato l'organizzazione del cantiere.

Similmente, i vincoli aerei, potrebbero interferire significativamente con le attività di cantiere, specialmente durante le fasi di movimentazione degli elementi. L'area in esame presenta come unico vincolo una linea elettrica con illuminazione sospesa. Si può tuttavia facilmente ovviare a questo problema spostando la linea stessa o interrompendo per la durata dei lavori il passaggio di corrente e ripristinandolo al termine degli stessi.



Fig.312 Vincoli aerei presenti sul sito.

8.1.4 INTERAZIONI FRA CANTIERE E AMBIENTE CIRCOSTANTE

La collocazione del cantiere in centro città lo rende praticamente immune da rischi di interazione dall'ambiente esterno verso l'interno, quanto meno in termini di caduta massi o agenti inquinanti. Risulta invece critica la presenza di persone nelle limitrofe vicinanze, soprattutto di bambini e donne (utenza principale dell'asilo situato vicino all'area di progetto). Lo stesso problema si presenta in senso opposto, in quanto il cantiere ha interazioni dal suo interno verso l'esterno. Le principali possono essere identificate con l'entrata e l'uscita di mezzi dal cantiere e la movimentazione aerea dei materiali con la gru. Anche la rumorosità del cantiere è un elemento da non sottovalutare considerando il carattere abitativo e commerciale del contesto limitrofo, verso il quale bisognerà porre particolare attenzione.

8.2 ANALISI DELLA VIABILITA'

L'area di cantiere presenta un vincolo ulteriore dato dalla sua centralità nella città di Milano. Tale vincolo ha ripercussioni in termini di accessibilità da parte dei mezzi di cantiere, soprattutto per quanto riguarda i trasporti eccezionali dei moduli prefabbricati.

La scelta dei mezzi e delle vie percorribili deve necessariamente essere preceduta da un'analisi della viabilità e delle dimensioni minime e massime dei veicoli, necessarie per trasportare gli apprestamenti in cantiere. La dimensione minima viene definita sulla base dell'elemento critico che, da questo punto di vista, è identificabile nella cellula abitativa prefabbricata di dimensioni pari a 7 x 3,75 x 3,75 m (più lo spessore, trascurabile, degli elementi di ancoraggio).

Il *Nuovo Codice della Strada* (D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285) definisce le dimensioni per la sagoma limite trasportabile, oltre le quali il trasporto diviene eccezionale. Ogni veicolo compreso il suo carico deve avere:

- larghezza massima non eccedente 2,55 m;
- altezza massima non eccedente 4 m;
- lunghezza totale, compresi gli organi di traino, non eccedente 12 m, con l'esclusione dei semirimorchi, per i veicoli isolati.

Risulta evidente quindi che i moduli comportano un trasporto eccezionale. Partendo da questo presupposto sono state valutate differenti ipotesi, in termini di numero di elementi trasportati ad ogni "viaggio", di scelta fra trasporto complessivo o meno dell'elemento cornice e di veicolo da utilizzare.

Queste variabili sono state analizzate da un punto di vista ergotecnico, ossia di fattibilità costruttiva, nonché economica e tempistica.

QUANTITA' DEI MODULI TRASPORTABILI

Mediante le informazioni ricavate grazie alla disponibilità di aziende di trasporti eccezionali e progettisti, è stato possibile stimare un costo, seppur indicativo, del trasporto dei moduli. Il punto di partenza è stato definito a Calolziocorte, dove è localizzata la sede dell'impresa produttrice di moduli prefabbricati alla quale abbiamo fatto riferimento (la quale ha partecipato alla realizzazione della sede del Politecnico di Milano in corso Promessi Sposi, a Lecco).

Il costo del trasporto di un singolo elemento alla volta è pari a 150 €/m² corrispondente a 135'975.00 € totali, mentre il costo di due elementi trasportati contemporaneamente è pari a 90 €/m², per un totale di 81'585.00. L'incidenza di tale variazione sul costo complessivo per la realizzazione dell'opera è pari rispettivamente al 9% e al 5%, la cui differenza, di solo 4 punti percentuali, appare estremamente ridotta se confrontata con altri elementi incisivi in termini di trasporto e viabilità. Il trasporto di due moduli comporta infatti l'utilizzo di un veicolo di dimensioni maggiori, con conseguenti difficoltà per quanto riguarda accessibilità, sicurezza e definizione dei percorsi.

Consapevoli della limitata influenza di questa voce di costo, e della sensibilità del contesto in cui si inserisce il lotto, si è scelto di eseguire il trasporto di un modulo ogni volta.

ELEMENTI PREFABBRICATI TRASPORTATI

La decisione di posare in opera i moduli comprensivi di cornici o senza le stesse, dipende principalmente dalla fattibilità di alcune fasi operative. Nello specifico, la fase di finitura superficiale esterna, necessitando l'installazione dei ponteggi, è fortemente condizionata dalla presenza delle cornici. Queste ultime hanno infatti una distribuzione sfalsata all'interno delle facciate, la quale rende difficoltosa l'installazione di ponteggi lineari fra le stesse e ancor più problematica la realizzazione della finitura fra gli spazi orizzontali presente ai diversi livelli fra le cornici. Dovendo invece optare per un ponteggio continuo lungo tutto il prospetto, lo stesso sarebbe vincolato dalla sporgenza di questi elementi e dovrebbe coprire uno sbalzo di almeno 2 m.

E' pertanto preferibile effettuare il montaggio delle cornici dopo aver eseguito le operazioni di finitura superficiale. In tale ipotesi, l'unica operazione aggiuntiva sarebbe la ripresa della finitura in corrispondenza dei giunti fra cornice e struttura dell'edificio, facilmente realizzabile con il solo ausilio di un sollevatore telescopico o di una piattaforma aerea.

SCELTA DEL VEICOLO

Dovendo trasportare un solo modulo, si ipotizza possa essere adottato un veicolo per il trasporto eccezionale del tipo mostrato in figura. Si tratta di un mezzo auto-articolato con semirimorchio ribassato avente le seguenti caratteristiche:

- altezza piano ribassato 40 cm;
- portata kg 18,800;
- vasca allungabile da metri 7,30 a metri 12,30;
- superficie non ribassata $h=1,50$ $l=2,40$;
- raggio di curvatura pari a 10- 12 m.

Avendo a disposizione anche il pianale non ribassato, è possibile trasportare, durante lo stesso viaggio, materiale o strumenti necessari alle operazioni di finitura dell'edificio, compatibilmente con la superficie libera per lo stoccaggio.



Fig.313 Schema esemplificativo delle caratteristiche del trasporto eccezionale.

8.2.1 ANALISI DEL PERCORSO

Si procede ora all'analisi del tragitto che il mezzo sopra definito deve eseguire per riuscire a raggiungere il sito di cantiere. Come anticipato il punto di partenza è a Calolziocorte (LC). Ovviamente per un mezzo di trasporto normale sono possibili differenti percorsi per coprire la tratta Milano – Calolziocorte. Un trasporto eccezionale ha invece vincoli dimensionali che rendono alcune soluzioni inattuabili. Si precisa che, al fine di ridurre il possibile disagio arrecato dal trasporto eccezionale alla viabilità e alle attività limitrofe al cantiere, lo stesso avverrà durante le ore notturne, precisamente dalle 24.00 sino alle 04.00.

Gli elementi che condizionano la percorribilità di una strada con l'autoarticolato in oggetto sono:

- altezza della sagoma;
- larghezza della sagoma;
- lunghezza della sagoma;
- raggio di curvatura del veicolo.

Per scegliere il tragitto percorribile si è quindi analizzato il percorso più veloce e lineare che ordinariamente si eseguirebbe, vagliando gli ostacoli presenti e trovando una valida alternativa ogni qualvolta si presentava un impedimento. Ovviamente in alcuni casi è stato necessario anche mettere in discussione tratti di percorso perfettamente agibili, ma che conducevano a dei punti critici per il proseguimento del percorso. Osservando ogni singolo tratto del percorso, è stato possibile individuare alcuni temi ricorrenti in termini di impedimenti al passaggio dei mezzi, di cui si riporta una breve analisi (il rilievo fotografico di tutti i punti critici è raccolto in allegato/tavola).

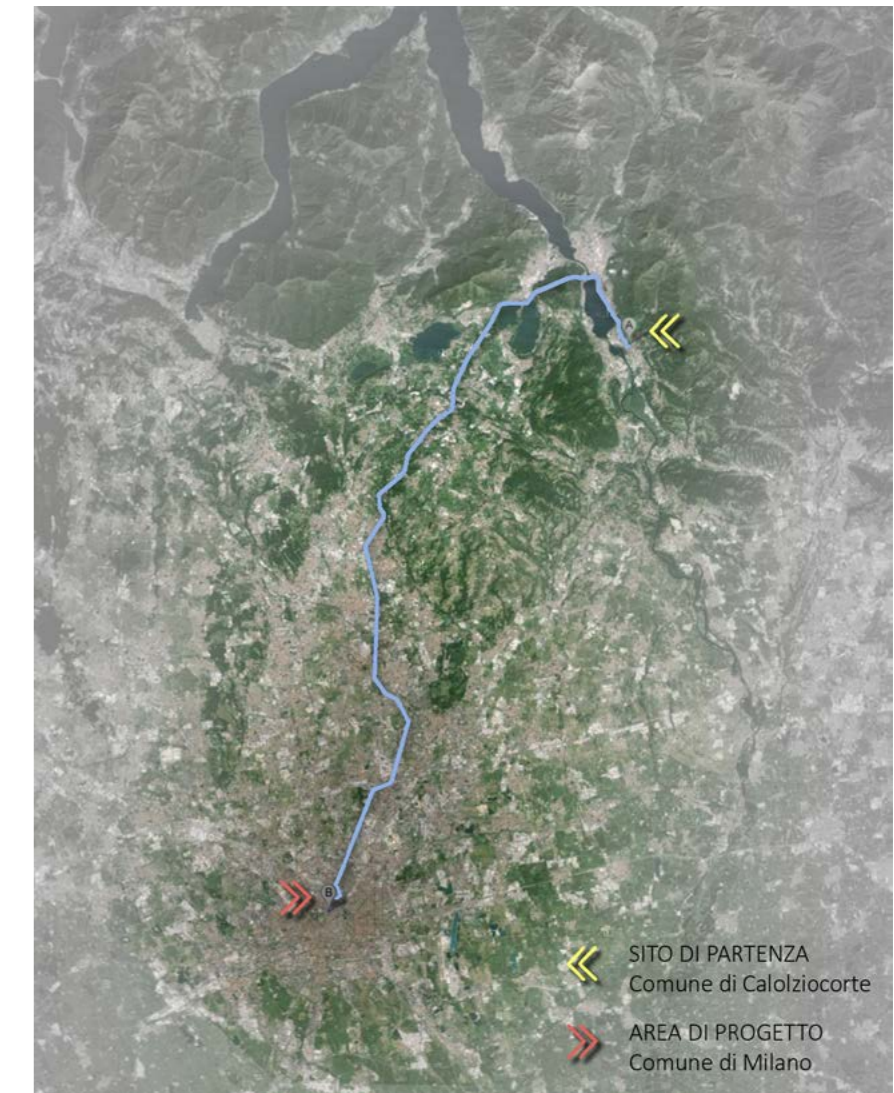


Fig.314 Percorso più veloce e diretto fra sito di partenza dei moduli prefabbricati e area di progetto.

PONTI STRADALI, PONTI FERROVIARI, SOTTOPASSI E GALLERIE

L'altezza della sagoma (veicolo + carico) è uno degli elementi più problematici in termini di tratte percorribili. Scorrendo virtualmente il tragitto si incontrano infatti, sin da subito, una serie di ponti e sottopassaggi, tuttavia facilmente eludibili. Prima di immettersi nella SS36, vi è infatti la possibilità di seguire percorsi diversi, agevolmente percorribili dai veicoli, seppur leggermente più lunghi di quelli normalmente seguiti.

La prima importante tipologia di ponti critici riguarda quelli presenti lungo la SS36, la cui quota potrebbe risultare problematica.

In tal caso la soluzione risiede nel percorrere le uscite e gli imbocchi presenti in superstrada, le quali si sviluppano sino a portarsi in quota con i ponti in questione, senza avere vincoli in altezza.

Terminata la strada statale SS36, si esegue l'immissione in tangenziale, la quale non crea particolari problemi. I ponti, se presenti, hanno infatti quote superiori ai 5 m, sufficienti per il passaggio degli autoarticolati con relativo carico.

Il problema maggiore si affronta in corrispondenza delle uscite dalla tangenziale, ossia verso l'ingresso vero e proprio nella città. Lungo il fronte Est, Milano è infatti circondata dalla linea ferroviaria che si dirama dalla stazione centrale e che comporta la presenza di ponti in corrispondenza di ogni strada che s'inserisca nella città lungo tale fronte.

Per questo motivo l'ingresso a Milano si deve eseguire percorrendo il cavalcavia Pontina, corrispondente all'uscita più vicina all'area di progetto realizzata appunto mediante cavalcavia e non attraverso un passante ferroviario.

In centro a Milano, lungo la via di accesso all'area di progetto, non si incontrano

ulteriori ponti o sottopassi.

Con riferimento alle gallerie, vi sono due particolari tratte da eseguire al loro interno, una in corrispondenza della Galleria del Monte Barro, lungo la SS36 e l'altra prima dell'immissione in tangenziale, in prossimità di Monza e Cinisello Balsamo. Entrambe non costituiscono un elemento di vincolo per il passaggio dei mezzi. Tuttavia, per l'immissione alla strada statale risulta più agevole seguire un altro percorso.

- STRADA STATALE n. 36, lungo la quale avviene il percorso dei moduli prefabbricati.
- PONTE "TIPO" presente lungo la superstrada.
- USCITA "TIPO" dalla SS36 in corrispondenza dei differenti comuni ad essa limitrofi. Attraverso queste strade è possibile superare l'interferenza con il vincolo in altezza costituito dal ponte.



Fig.315 Utilizzo delle uscite dalla strada statale per evitare il vincolo dato dai ponti.

CURVE, INCROCI E ROTONDE

L'ingombro planimetrico del mezzo e il raggio di curvatura, si scontrano con la difficoltà e, talvolta, l'impossibilità di procedere lungo un determinato percorso. L'ingombro planimetrico è stato accertato sviluppando tutto il percorso sulla base della cartografia aerofotogrammetrica, verificando che l'ampiezza della strade e le sporgenze dei manufatti non avrebbero creato interferenze con il passaggio dei mezzi.

La stessa tipologia di indagine è stata effettuata per la verifica delle manovre in corrispondenza di percorsi curvilinei, con particolare riferimento agli incroci, alle svolte e alle rotonde.

La verifica è stata condotta a favore di sicurezza, impostando l'ingombro planimetrico del veicolo e dimostrando che lo stesso non urti edifici o elementi presenti. Sono stati esclusi gli spazi segnati come marciapiedi in quanto il loro dislivello, seppur ridotto, potrebbe creare perdite di instabilità del mezzo o del carico.

CARTELLONISTICA, SEGNALETICA STRADALE E IMPEDIMENTI SPECIFICI

Nel percorrere una strada vi sono, oltre a quanto descritto sopra, altre situazioni meno eclatanti che potrebbero però divenire comunque vincolanti per la prosecuzione del transito.

La presenza di semafori o segnaletica stradale in quota, le linee dei tram o i fili dell'illuminazione pubblica, sono piccoli ma importanti fattori che possono interferire con il trasporto dei moduli prefabbricati. Non si tratta di volumi od oggetti inamovibili ma è comunque importante prevederne l'incontro al fine di prevenire qualsiasi incidente. La semplice rimozione temporanea di un cartello stradale o

di un semaforo consente di risparmiare spiacevoli incidenti e danni non solo al carico e al mezzo in questione ma a tutta l'utenza che usufruisce del medesimo servizio. In questo senso non si è potuto eseguire un rilievo completo di ogni singolo componente di disturbo, ma è stato fondamentale prendere atto dei possibili impedimenti e cercare di verificarne la presenza lungo la strada ipotizzata.

Un ultimo, non per importanza, elemento da non trascurare è il casello situato lungo la tangenziale Est, le cui dimensioni non consentono il passaggio dei moduli. In questo caso è stata accertata la possibilità di transito lungo una corsia laterale di emergenza, sufficientemente larga e senza elementi in quota da garantire il passaggio dei veicoli con relativo carico (è tuttavia noto che in casi di trasporti eccezionali è possibile smontare parte del blocco e consentire il passaggio dei mezzi).

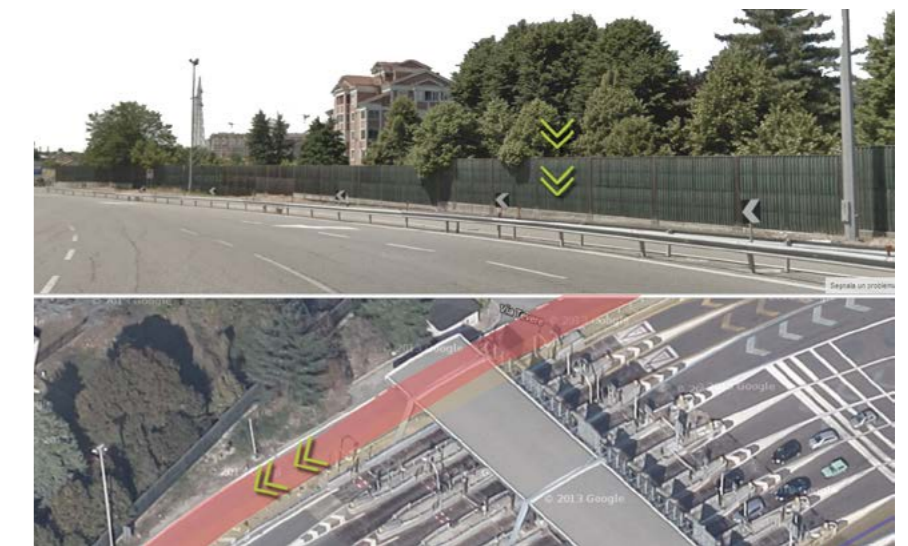


Fig.316 Schema esemplificativo delle caratteristiche del trasporto eccezionale.

8.3 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

Sulla base delle considerazioni esposte nel precedente capitolo, è possibile definire l'ipotesi di un cantiere plausibile per l'area in oggetto. Non conoscendo infatti la struttura operativa e organizzativa di chi opererà realmente all'interno del cantiere, in questa sede si è cercato di progettare le principali fasi operative, riferendosi alle condizioni al contorno più critiche e che meglio simulavano la situazione reale, senza avere la pretesa di affrontare tutti i numerosi aspetti della progettazione cantieristica. Nel perseguire questo obiettivo si è, ancora una volta, fatto riferimento alle specifiche definite dalla normativa in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, con particolare riferimento al D.Lgs. 81/2008.

8.3.1 SPECIFICHE PER IL PROGETTO DEL CANTIERE

DELIMITAZIONE DEL CANTIERE

Attraverso le recinzioni e la delimitazione delle aree del cantiere, si individuano gli spazi disponibili per le varie fasi operative. La peculiarità del lotto in questione risiede nell'essere situato in una zona fortemente urbanizzata e priva di spazi eccedenti la superficie edificabile. Talvolta nei centri urbani, si ricorre all'occupazione di suolo pubblico o di altre proprietà, al fine di reperire maggiore spazio per la gestione del cantiere. In questo ambito si è deciso di non eccedere dai confini

dell'area di progetto e si è cercato di sviluppare il cantiere nei limiti dell'area di "nostra" pertinenza, considerando quindi sin dalle prime scelte la condizione più sfavorevole. Come mostra lo schema sottostante, è necessario definire il perimetro con una recinzione solo lungo il fronte Nord ed Est dell'area, essendo i rimanenti lati adiacenti ad edifici o manufatti esistenti. Entrambi questi lati si affacciano sul fronte strada, dove il passaggio di pedoni e veicoli costituisce elemento di rischio per gli stessi e per gli addetti ai lavori. Data la presenza di persone nelle vicinanze dei lavori, "il cantiere, anche in relazione al tipo di lavori effettuati, deve essere dotato di recinzione avente caratteristiche idonee ad impedire l'accesso agli estranei alle lavorazioni", come sancito dal D.Lgs 81/2008. Per questi motivi si è scelto di delimitarlo con una recinzione avente le seguenti caratteristiche:

- superficie piena (non permeabile alla vista, alle polveri e all'acqua) in lamiera ondulata zincata e preverniciata;
- dimensioni del pannello 210 cm x 200 cm (h) con struttura di sostegno esterna verticale in tubolare tondo \varnothing 40 mm e struttura orizzontale a U 35 mm x 35 mm x 43 mm, spessore 1,2 mm;
- imballo in confezioni da 25 pannelli.

Attraverso una recinzione piena ed opaca si impedisce la proiezione di elementi al di fuori dell'area di cantiere, offrendo maggiore protezione sia a chi opera all'interno del cantiere, sia a chi si trova all'esterno. Una recinzione impermeabile offre inoltre una maggiore protezione anche a livello acustico, risparmiando l'utilizzo aggiuntivo di barriere per ridurre il rumore. Sulla superficie della recinzione e in

corrispondenza degli accessi è prevista inoltre una segnaletica luminosa e la cartellonistica di cantiere, al fine di migliorare la visibilità, la riconoscibilità dell'area dei lavori e la segnalazione di eventuali pericoli.

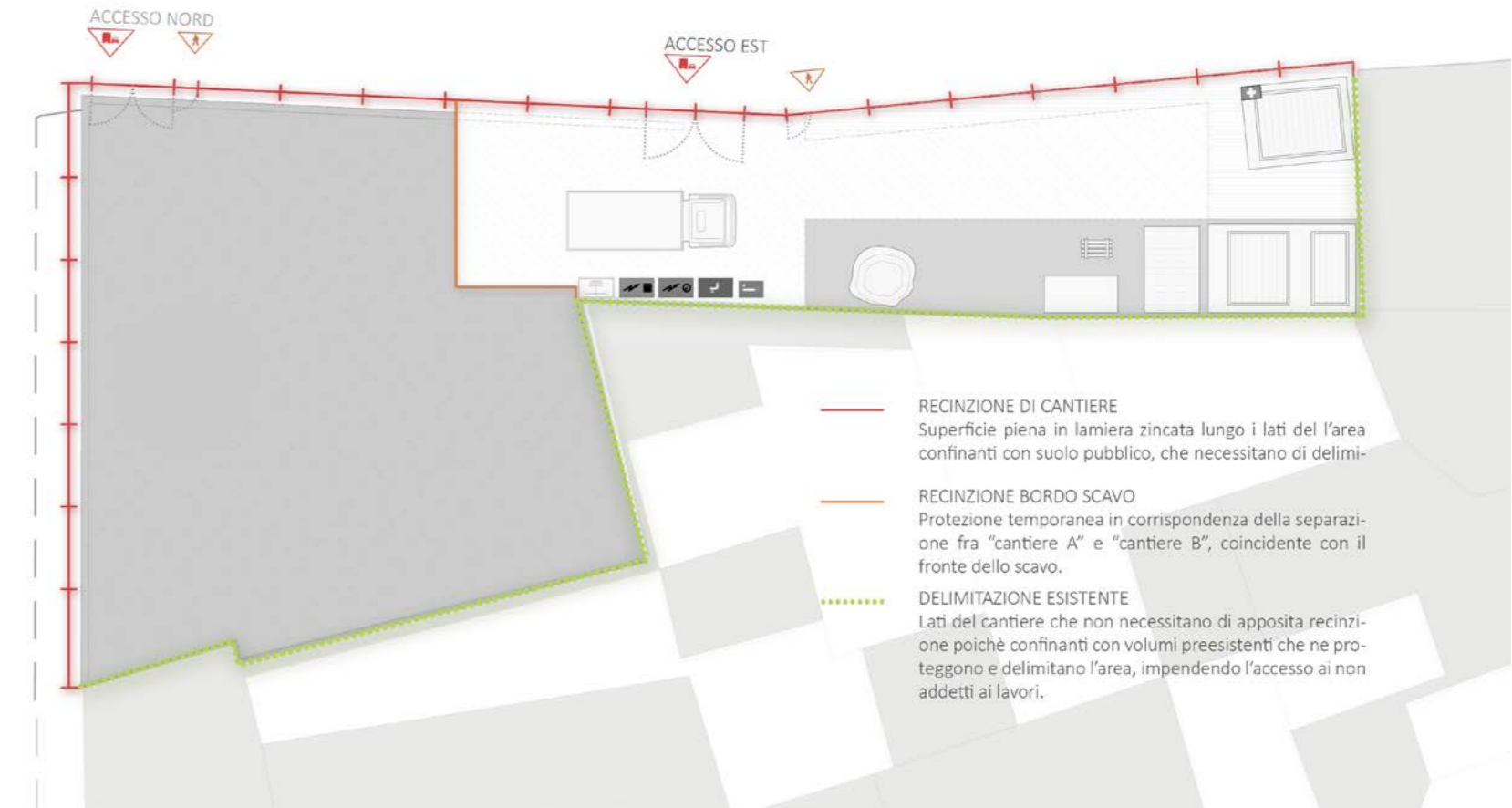


Fig.317 Schema della tipologia di delimitazioni dell'area di cantiere.

OTTIMIZZAZIONE DEGLI SPAZI

La volontà sopra descritta, di mantenersi all'interno della proprietà, comporta uno studio del layout del cantiere tale da consentire lo svolgimento delle operazioni di costruzione e la contemporanea presenza dei servizi e della logistica dello stesso. Come mostra la Figura 318, si è quindi scelto di sviluppare due layout differenti, suddividendo il lotto in due aree distinte che, in alternanza, costituiscono l'una la parte "attiva" del cantiere, dove avvengono fisicamente le operazioni di realizzazione del progetto, l'altra rimane invece adibita alla logistica, ai servizi e alla sosta/movimentazione dei mezzi. Questa suddivisione viene mantenuta durante le attività che coinvolgono sostanzialmente la parte di progetto realizzata con la tecnologia non prefabbricata (struttura in calcestruzzo armato e tecnologia a secco) e che necessita quindi di operazioni in sito. Le fasi soggette alla suddivisione del cantiere sono le seguenti:

- allestimento recinzione e servizi di cantiere;
- consolidazione delle pareti di scavo;
- scavo e movimento terra;
- cassetta e getto degli elementi interrati;
- cassetta e getto delle elevazioni del livello 0 (primo livello fuori terra).

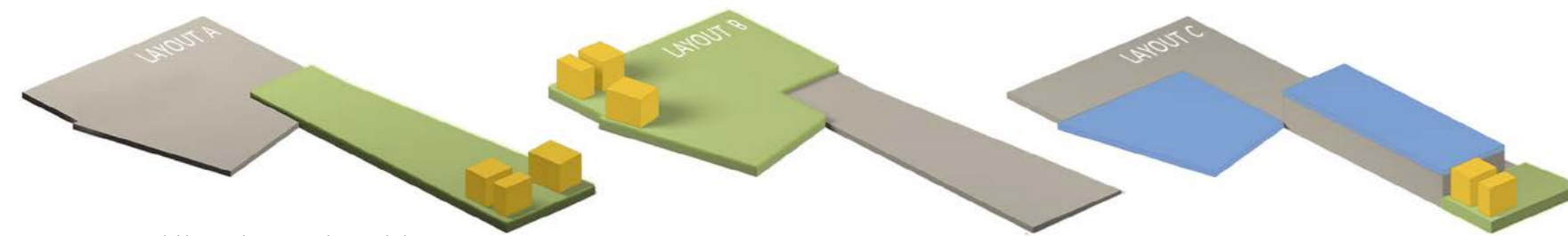


Fig.318 Variazioni del layout di cantiere durante le lavorazioni.

La fase iniziale di delimitazione del cantiere e allacciamento alle reti impiantistiche viene eseguita un'unica volta e permarrà pressoché invariata per tutta la durata del cantiere. Terminati i lavori necessari alla realizzazione delle parti non prefabbricate, lo spazio necessario alla gestione del cantiere potrà essere ridotto e collocato in un'unica posizione per tutte le fasi successive. Questo poiché i piani fuori terra realizzati con i moduli prefabbricati occupano una superficie inferiore rispetto ai restanti livelli. Rimangono infatti "libere":

- l'area dedicata alla corte (parte della soletta livello-1);
- la soletta del livello +0 adibita a tetto giardino;
- lo spazio conclusivo soprastante il vano impianti.

La soluzione prefabbricata offre inoltre il vantaggio di consentire la posa in opera di "celle" praticamente finite (necessitano infatti della sola finitura superficiale) richiedendo quindi un numero di mezzi e materiali decisamente contenuto.

Si vedrà poi nella spiegazione dei layout di cantiere come questa decisione abbia condizionato e ottimizzato la gestione del cantiere, rendo possibile il suo svolgimento all'interno dell'area realmente disponibile.

ACCESSI E VIABILITÀ DI CANTIERE

In un cantiere la definizione degli accessi è un elemento fondamentale in quanto stabilisce i punti in cui avviene la connessione fra l'area attiva delle lavorazioni e l'ambiente esterno. Si tratta quindi di punti sensibili per i quali è necessario stabilire non solo la collocazione ma anche la quantità e la tipologia.

Nel presente caso gli accessi possono essere disposti solamente lungo i lati del cantiere adiacenti alla strada. Essendo Via Palermo maggiormente trafficata rispetto alla sua traversa, si è preferito disporre lungo la stessa gli accessi al cantiere, compatibilmente con la possibilità dei mezzi di eseguire le operazioni di manovra. Lo schema sottostante chiarisce quanto appena esposto.

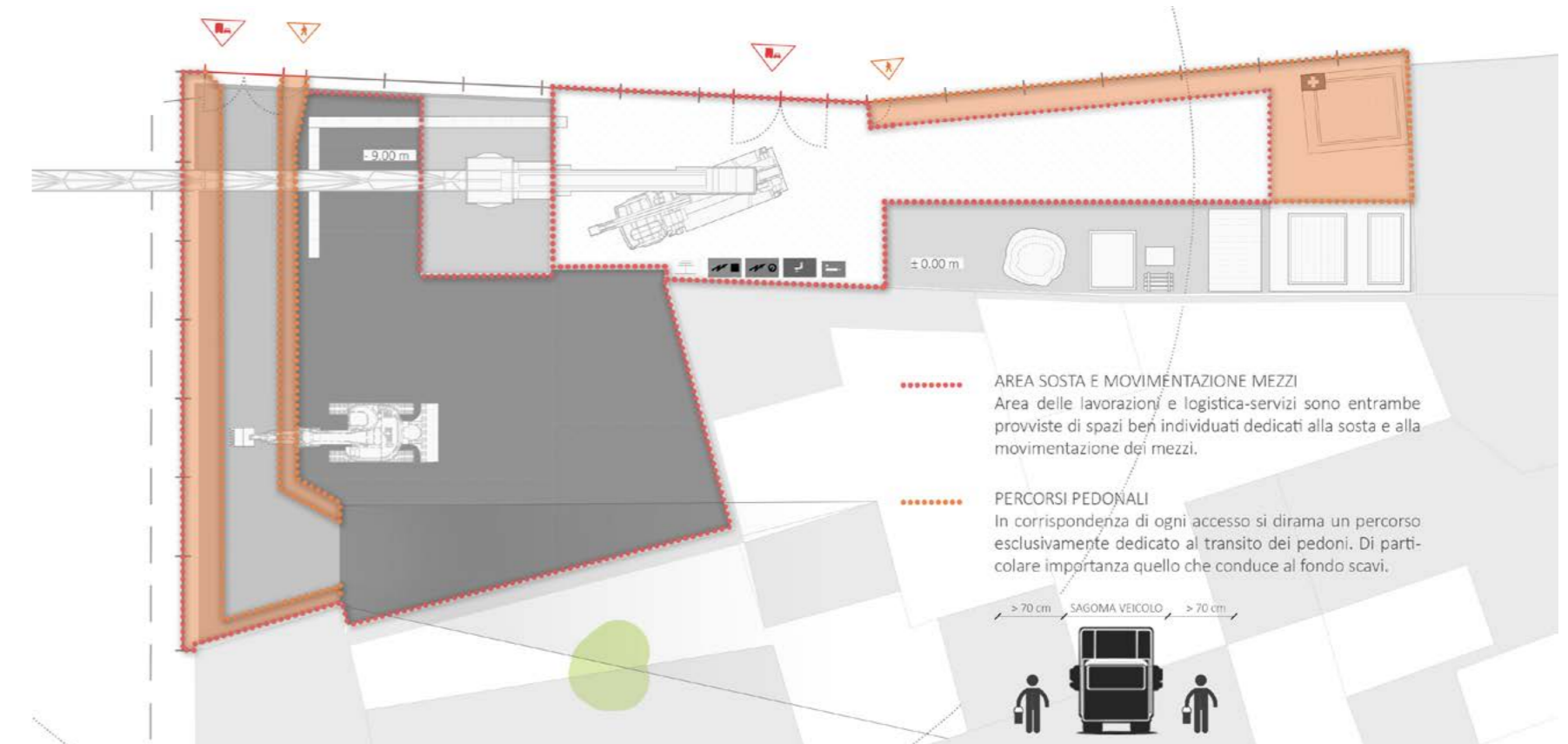


Fig.319 Schema degli accessi e della viabilità interna al cantiere.

Ovviamente gli accessi dipendono dalla suddivisione alternata dell'area dei lavori descritta sopra.

Come si può notare dal layout riportato in precedenza, sono stati disposti due accessi indipendenti, in maniera tale da poter servire entrambe le parti all'interno dell'area e poter essere utilizzati in alternanza al variare dei layout.

L'accesso alla parte attiva A (che poi diverrà quindi accesso alla parte di servizio per la variante B) è stato collocato lungo la traversa a Via Palermo, ma in stretta vicinanza con quest'ultima, al fine di agevolare il più possibile le operazioni di manovra dei mezzi pesanti. Qualora dovesse essere necessario, la collocazione in prossimità dell'angolo consente inoltre l'ampliamento dell'ingresso mediante la movimentazione di un modulo della recinzione, rendendo l'apertura allineata alla strada e annullando quasi completamente le operazioni di manovra dei mezzi.

L'altro ingresso è stato invece collocato, compatibilmente con l'organizzazione del layout, in prossimità del punto di maggiore slargo lungo la traversa a Via Palermo, al fine di facilitare l'entrata e l'uscita dei mezzi pesanti. La presenza di un doppio accesso risulta favorevole anche in termini di sicurezza, in quanto comporta una riduzione dei percorsi di fuga e un aumento delle uscite di emergenza.

Entrambi gli accessi hanno un'apertura carrabile e una pedonale. Essendo quest'ultima di dimensioni ridotte, si semplifica l'accesso per i lavoratori alle aree di cantiere, il quale rimane inoltre meno "aperto" verso l'esterno, conferendo maggiore sicurezza nei confronti dei non addetti ai lavori. Nonostante la segnaletica di sicurezza non si può infatti escludere la possibilità di ingresso (seppur involontario) da parte di terzi.

" Durante i lavori deve inoltre essere assicurata nei cantieri la viabilità delle persone e dei veicoli ", come stabilito dal *D.Lgs. 81/2008*. In corrispondenza degli accessi si sviluppano infatti i percorsi, pedonali e carrabili, che portano al fondo

degli scavi o alla logistica di cantiere (progettati in conformità con la normativa vigente). La presenza del percorso pedonale è stata garantita lasciando un franco di almeno 70 cm rispetto all'ingombro del veicolo.

Essendo l'area di progetto estremamente ridotta, non è stato possibile realizzare un " circuito " per la viabilità dei mezzi. Si è cercato tuttavia di rendere il più possibile agevole e sicuro il transito degli stessi.

AREE DI STOCCAGGIO, CARICO E SCARICO

Le linee guida adottate per la collocazione delle aree di stoccaggio e carico/scarico di materiali e apprestamenti, sono state le seguenti:

- aree di carico e scarico posizionate in prossimità dei percorsi di transito;
- aree di stoccaggio sistemate nelle vicinanze della zona di carico e scarico;
- entrambe le aree non devono intralciare la viabilità e la sicurezza del cantiere;
- entrambe le aree devono essere agibili e non compromettere l'integrità di materiali e strumentazione.

La prima disposizione del cantiere, layout A, prevede l'area di carico e scarico in corrispondenza dell'accesso carraio. Questo per ridurre al minimo le operazioni di manovra dei mezzi e per non interferire con la logistica di cantiere. In stretta connessione si è definita l'area dedicata allo stoccaggio e, al termine di questa, una postazione di lavoro fissa. Avendo poco spazio si è scelto di avere una disposizione lineare e semplice, che seguisse uno sviluppo "in serie", tale da facilitare lo svolgimento di tutte le attività , in sicurezza e continuità, ma con le minori interferenze possibili.

A differenza del layout A, quello B gode di una superficie disponibile maggiore e con una forma più agevole. Avendo lasciato la parte centrale dell'area a dispo-

zione del transito dei mezzi, per carico, scarico e stoccaggio rimangono gli spazi lungo il perimetro. Si è preferito lasciare la logistica in continuità con l'accesso e il percorso pedonale, e le aree di stoccaggio più vicine all'area dei lavori.

Durante la fase di posa in opera degli elementi prefabbricati, si riduce al minimo

la necessità di aree dedicate allo stoccaggio. Si prevede tuttavia uno spazio, combinato con la logistica del cantiere, nella parte terminale dell'edificio. Qualora ci fosse l'esigenza di una maggiore area per lo stoccaggio, sarà possibile usufruire della corte interna o della soletta (che diverrà tetto giardino) del livello +0.

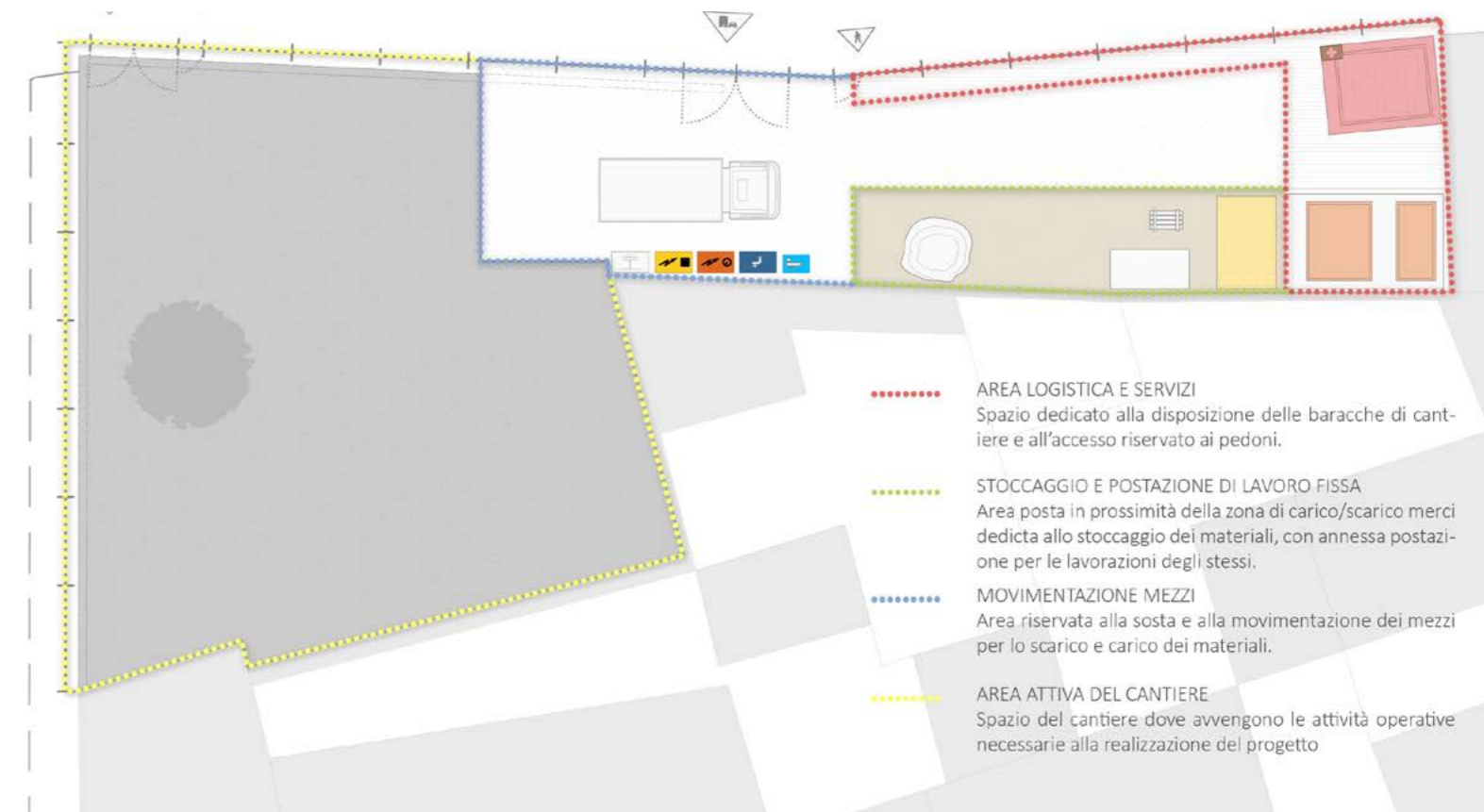
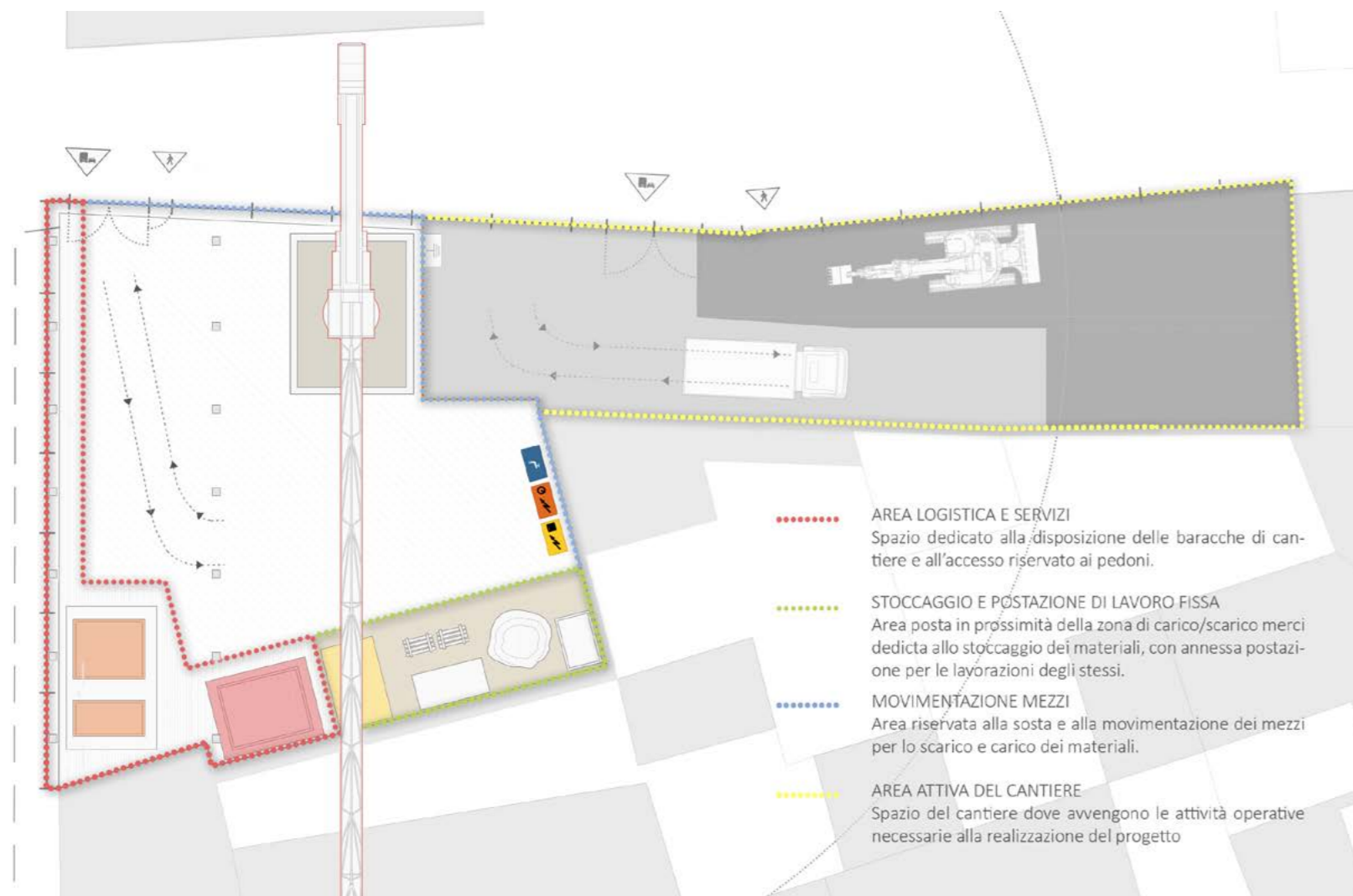


Fig.320 Organizzazione del cantiere durante il layout A.

Fig.321 Organizzazione del cantiere durante il layout B.



LOGISTICA E SERVIZI DI CANTIERE

Durante tutte le fasi del cantiere, logistica e servizi sono stati collocati in prossimità delle aree di stoccaggio e carico/scarico dei materiali, in maniera tale da poter definire un unico spazio provvisto di tutti gli elementi necessari al funzionamento del cantiere.

Nel primo layout la logistica è stata collocata nella parte terminale dell'area, connessa all'ingresso mediante un percorso pedonale, lasciando così la parte iniziale, più facilmente raggiungibile dai mezzi, ad altre attività. Anche nel secondo layout permane lo stesso contatto con l'ingresso pedonale e l'occupazione di un'area autonoma e sicura, tale da non essere intralciata e da non intralciare le altre attività, pur rimanendovi in stretta connessione, fisica e visiva. Il posizionamento dei servizi e della logistica lungo il perimetro e nei punti più isolati del lotto, protegge le attività da eventuali rischi (si riduce così la movimentazione aerea di elementi al di sopra dei locali). Sempre nell'ottica di rimanere all'interno della proprietà non si utilizzano spazi esterni esistenti per svolgere le attività di logistica o di servizio. Durante queste fasi pertanto, è prevista l'installazione delle seguenti baracche prefabbricate di cantiere:

- direzione dei lavori e ufficio, provvista dell'arredo necessario allo svolgimento dei lavori (dim. 2.75 x 6.34 m);
- servizi igienici, comprensivi di lavabo e wc (distinti per sesso, dim. 1.4 x 2.5 m);
- spogliatoi, muniti di arredo e docce (dim. 3 x 2.5 m).

Tutti i locali dovranno essere, conformemente alla normativa di riferimento, areati, illuminati, dotati di sistemi di riscaldamento e con superfici facilmente pulibili. Il piano di posa dovrà inoltre essere rialzato da suolo, al fine di evitare infiltrazioni, con conseguente mal funzionamento delle baracche.

MOVIMENTAZIONI AEREE

All'interno del cantiere in oggetto, si ha la necessità di eseguire operazioni di movimentazione aerea, sia per quanto riguarda le componenti realizzate in opera con tecnologia non prefabbricata, sia per la posa dei moduli.

Durante le operazioni di movimentazione è necessario porre particolare attenzione ai vincoli e alle preesistenze che potrebbero interferire con l'attività, al fine di svolgerla in sicurezza e nel rispetto della normativa vigente. Quest'ultima impone il rispetto delle seguenti distanze:

- 2,5 m sotto carico (distanza verticale);
- 1,5 m laterali dai manufatti esistenti;
- 5 m dalle linee elettriche.

Pertanto, si può già definire che il primo vincolo per l'installazione della gru dato dal contesto riguarda l'altezza della stessa. L'edificio più alto (compatibilmente con il raggio d'azione della gru) ha una quota pari a 19.1 m. Considerando che l'altezza massima dell'elemento movimentabile dalla gru corrisponde a quella di un modulo prefabbricato (circa 4 m) alla quale va aggiunta la distanza di 2,5 m sotto carico, l'altezza della gru dovrà essere uguale o maggiore a 26 m (quota riferita al braccio della gru).

La lunghezza del raggio e quindi il braccio della gru dovrà essere tale da coprire tutto il cantiere, e non solo la superficie interessata dai container. Si necessita quindi di un braccio pari a 40 m. Un ulteriore elemento di vincolo per il dimensionamento della gru è dato dalla portata della stessa. Per la realizzazione dell'edificio in questione, è necessario installare una gru che sia in grado di movimentare il carico massimo presente in cantiere, che corrisponde a quello del singolo modulo prefabbricato (circa 7 t).

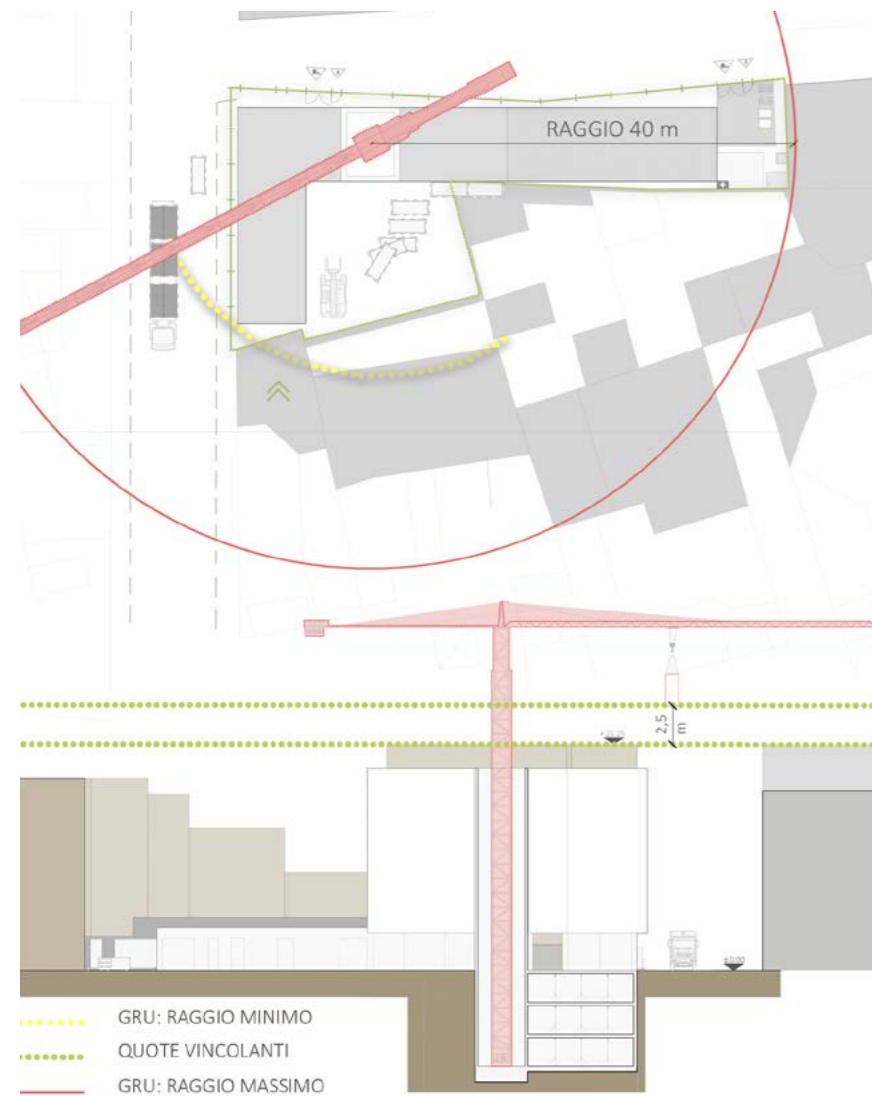


Fig.322 Planimetria e prospetto della gru di cantiere in relazione con il contesto.

Tuttavia, la portata massima riferita ai moduli prefabbricati non si avrà in corrispondenza del raggio massimo, ma ad una distanza di circa 25-30 m. In tale punto dovrà essere tollerata una portata superiore o uguale a quella dell'elemento prefabbricato. Si è scelto pertanto di installare una gru avente le seguenti caratteristiche (meglio esplicate nel riferimento della scheda tecnica sotto riportato):

- raggio massimo di 40 m;
- portata massima in punta 5,5 t;
- portata critica moduli prefabbricati 8,9 t ad una distanza di 25 m.

Rimanendo coerenti con la scelta iniziale di non fuoriscire dal perimetro del lotto con l'attività del cantiere, al fine di ottimizzare il layout dello stesso si è optato per installare la gru all'interno del vano scale.

Questa soluzione parte dal presupposto di non poter adottare un'autogru, in quanto occuperebbe, seppur temporaneamente, suolo pubblico e, date le caratteristiche dei carichi, costituirebbe un elemento di ingombro eccessivo per l'area circostante il lotto, con annesse difficoltà per le operazioni di manovra. Un'ulteriore condizione vincolante era quella di non voler cambiare la posizione della gru durante la durata del cantiere. Questo poiché sarebbe risultato svantaggioso sia da un punto di vista economico che organizzativo e tempistico. Anche l'apparente soluzione di poter installare la gru nella corte risulta poco sensata in quanto non consentirebbe la realizzazione della soletta costituente la corte esterna. Essendo invece il corpo scale e il vano ascensore costituiti da elementi prefabbricati, l'inserimento del mezzo al loro interno risulta agevole sotto differenti punti di vista. La postazione è infatti sicura e protetta, senza subire interferenze dalle altre lavorazioni. La posizione è centrale rispetto alla conformazione del lotto, favorendo quindi le movimentazioni durante tutta la durata del cantiere. Il grafico a lato esplica meglio e sinteticamente i concetti appena esposti.

Per il fissaggio degli elementi a sbalzo prefabbricati, può essere necessario il ricorso ad una piattaforma aerea. Questo strumento, risulta più piccolo e quindi più maneggevole rispetto ad un sollevatore telescopico, e risponde ai requisiti e alle esigenze richieste. La sua presenza in cantiere può essere utile anche durante quei lavori di finitura che devono essere eseguiti dopo aver disinstallato la gru. Lo schema sottostante riporta alcuni dettagli tecnici relativi alla tipologia di mezzi scelti.

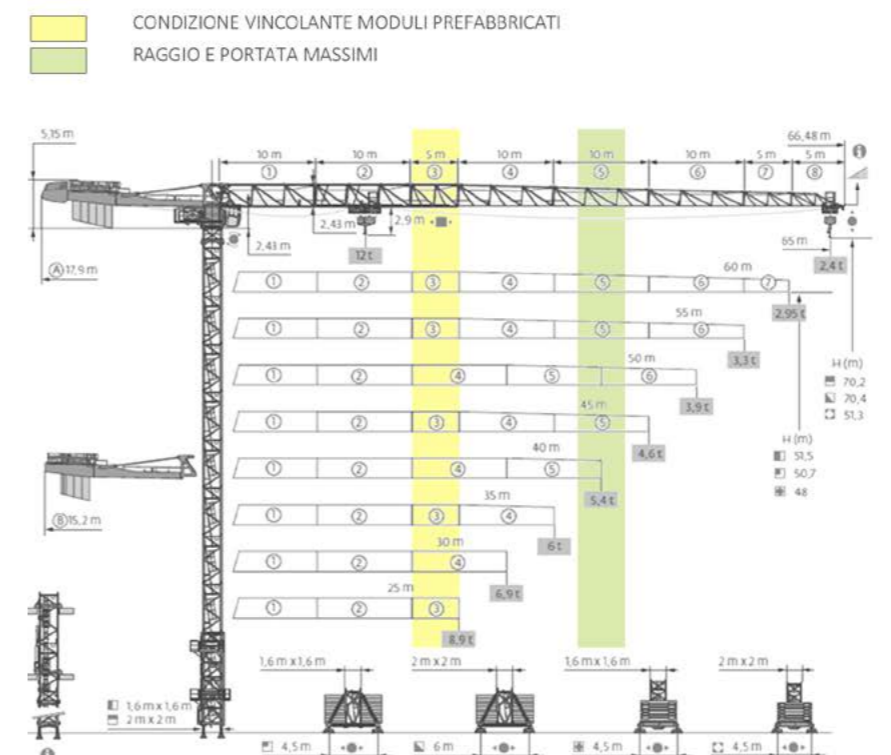
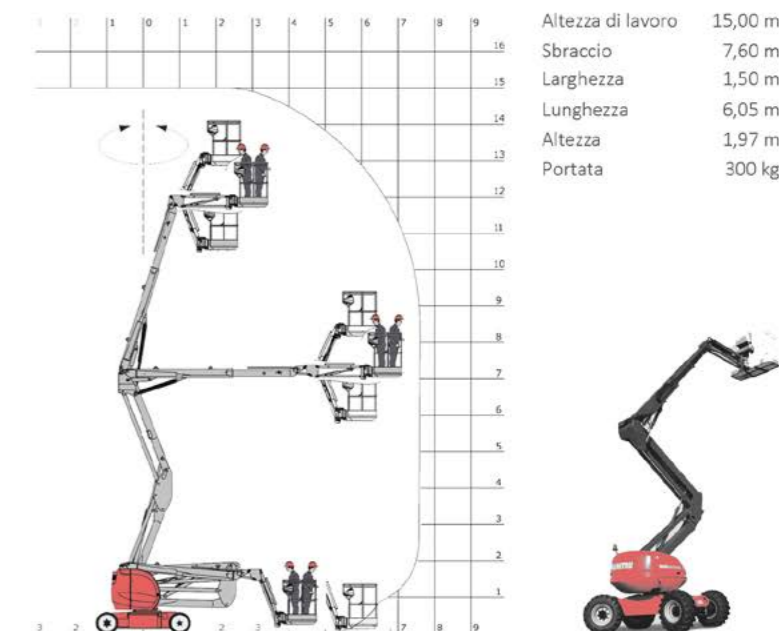


Fig.323 Infomrazioni tecniche relative alla gru di cantiere e alla piattaforma aerea.



MEZZI DI CANTIERE

Le movimentazioni aeree sopra descritte, seppur importanti, costituiscono solo una parte delle operazioni da dover svolgere in un cantiere. Ognuna di queste necessita di specifici mezzi e strumenti per poter essere correttamente svolta. Si vedrà ora quali sono i mezzi principali che dovranno essere presenti durante una o più fasi di cantiere. La scelta degli stessi è stata ponderata confrontando le caratteristiche dei mezzi con l'organizzazione del cantiere, al fine di verificarne la compatibilità.

Un abaco di tutti quelli presenti in cantiere risulterebbe, in questa sede, superfluo. Si individuano pertanto i mezzi che condizionando l'organizzazione delle fasi di cantiere e che potrebbero essere problematici da un punto di vista prettamente dimensionale, date le peculiari condizioni del lotto.

Si riportano nel seguito le caratteristiche principali, ricavate dall'analisi delle schede tecniche dei seguenti mezzi:

PALIFICATRICE

ESCAVATORE

AUTOCARRO

AUTOBETONPOMPA

NASTRI TRASPORTATORI

Ovviamente, le schede tecniche fornite dai produttori dei mezzi riportano tutte le informazioni e le caratteristiche dei mezzi di cui dispongono. Tuttavia, elencare tutti i dati equivarrebbe a riportare le schede tecniche stesse. Si è quindi scelto di selezionare i dati in relazione alle informazioni che risultano vincolanti o fondamentali se relazionate al cantiere in oggetto.

PALIFICATRICE

Per le operazioni di consolidamento del fronti scavo, è necessario disporre di una micro palificatrice, del tipo mostrato in figura.



Fig.324 Palificatrice per l'infissione dei micro pali nel terreno.

Questa tipologia di macchinario presenta le seguenti caratteristiche:

Tab.293 Caratteristiche dimensionali della palificatrice.

CARATTERISTICHE TECNICHE			
Massima profondità di scavo	m	68,00	
Diametro massimo dei pali	m	2,00	
Larghezza sottocarro	m	3,00	
Larghezza pattini	m	0,90	

ESCAVATORE

Questo mezzo è presente sin dall'inizio dei lavori, fino alla terminazione delle operazioni di scavo e movimento terra, per entrambe le impostazioni di layout. Data la profondità dello scavo, si sarebbe potuto scegliere un escavatore con braccio lungo, del tipo "Long Reach Excavation", tale da giungere a fondo scavo pur rimanendo esterno allo stesso. Ciò avrebbe però comportato l'occupazione di suolo pubblico. L'ingombro del mezzo avrebbe inoltre creato problemi di trasporto e di circolazione. Si è quindi scelto un escavatore più piccolo, con il quale eseguire lo scavo agevolmente in soli tre livelli (H. di circa 3 m per ogni livello).

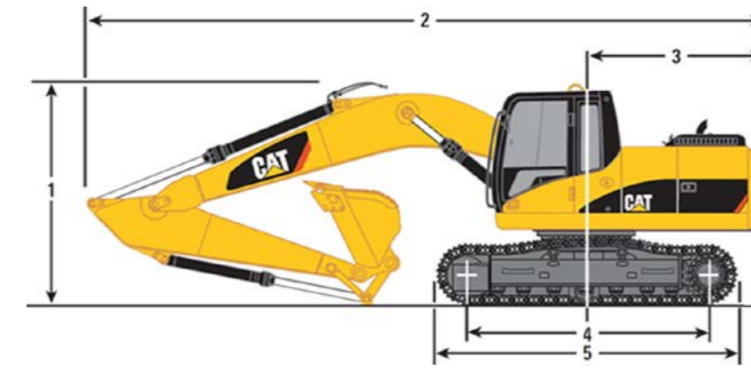


Fig.325 Caratteristiche dimensionali dell'escavatore (modello piccolo).

Tab.294 Caratteristiche dimensionali dell'escavatore, modello piccolo.

CARATTERISTICHE TECNICHE			
1 Altezza di spedizione	m	2,25	
2 Lunghezza di spedizione	m	2,86	
3 Raggio di rotazione	m	6,91	
4 Passo	m	1,75	
5 Lunghezza carro	m	2,78	

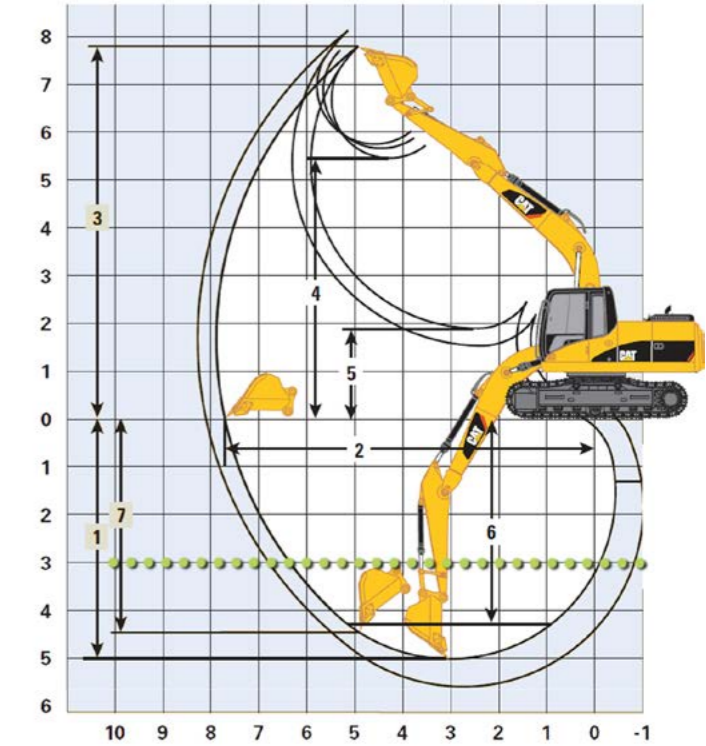


Fig.326 Sezione esplicitiva delle caratteristiche dell'escavatore.

Tab.295 Caratteristiche tecniche degli scavi eseguiti con l'escavatore scelto.

CARATTERISTICHE TECNICHE			
1 Massima profondità di scavo	m	5,04	
2 Sbraccio massimo al suolo	m	7,70	
3 Altezza massima di scavo	m	7,80	
4 Altezza massima di carico	m	5,45	
7 Profondità massima di scavo parete verticale	m	4,46	

AUTOCARRO

Un mezzo che è solitamente presente all'interno del cantiere è l'autocarro. Tale veicolo è necessario soprattutto durante le fasi iniziali di scavo e movimento terra. Anche in questo caso si è cercato di non eccedere con le dimensioni, considerando tuttavia che, per le fasi seguenti, si adotterà un mezzo più piccolo per il trasporto dei materiali e degli strumenti da cantiere.

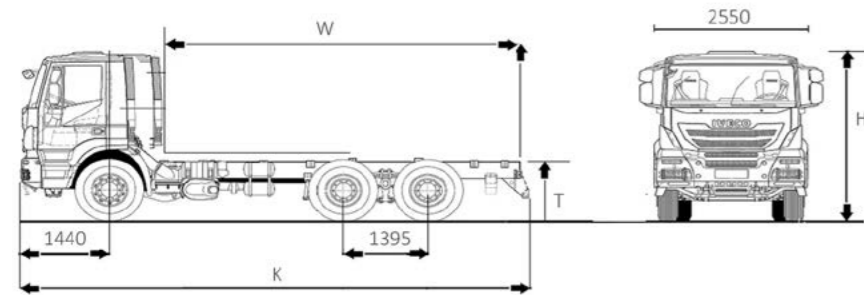


Fig.327 Caratteristiche dimensionali dell'autocarro.

Tab.296 Caratteristiche dimensionali dell'autocarro scelto.

CARATTERISTICHE TECNICHE		
Lunghezza massima	m	7,45
Lunghezza carrozzabile massima	m	5,9
Altezza minima da terra	m	1,15
Altezza massima a vuoto	m	3,10

AUTOBETONPOMPA

Avendo a disposizione poco spazio per l'esecuzione dei getti, e volendo ridurre al minimo il numero di mezzi presenti in cantiere, si è pensato di adottare un unico mezzo per il trasporto del getto e il pompaggio dello stesso. Di particolare importanza è la lunghezza del braccio, la quale deve raggiungere il fondo dello scavo nel punto più sfavorevole.

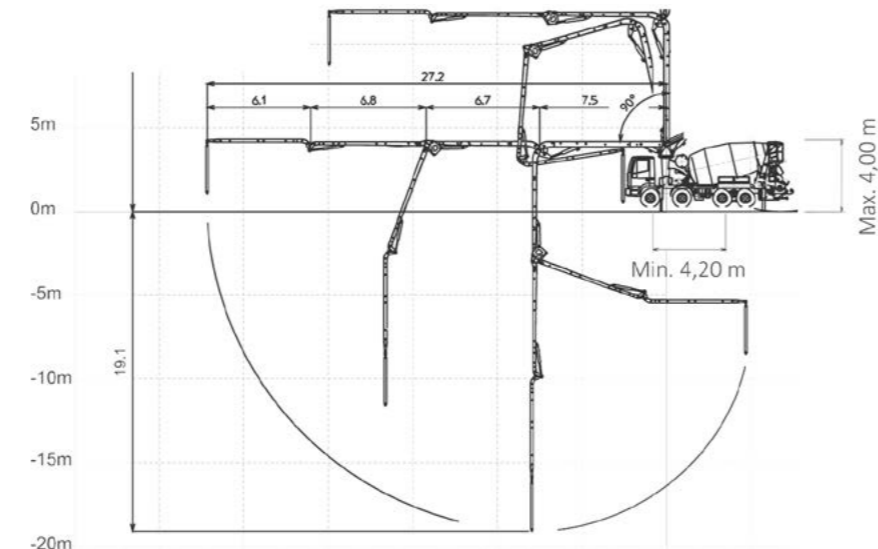


Fig.328 Caratteristiche dell'auto-betonpompa, particolare riferimento al braccio della stessa.

Tab.297 Caratteristiche dimensionali dell'autobetonpompa.

CARATTERISTICHE TECNICHE		
Capacità nominale	m ³	9,5
Volume geometrico	m ³	14,6
Portata- Pressione pompa acqua	l/min-bar	230/15
Max. produzione teorica (pompa)	m ³ /h	3,10

NASTRI TRASPORTATORI

Uno strumento di fondamentale importanza per il cantiere in questione, è il nastro trasportatore. Durante la fase degli scavi, soprattutto quelli dell'ultimo livello, è necessario movimentare il terreno dopo aver rimosso la rampa di accesso agli stessi. Viene a mancare quindi la possibilità di caricare un autocarro e trasportare nelle apposite discariche il terreno rimosso.

Per questo motivo si è scelto di posare dei nastri trasportatori, connettendoli con il livello 0, dove è situata l'organizzazione del cantiere. I nastri utilizzati sono del tipo mostrato in figura.

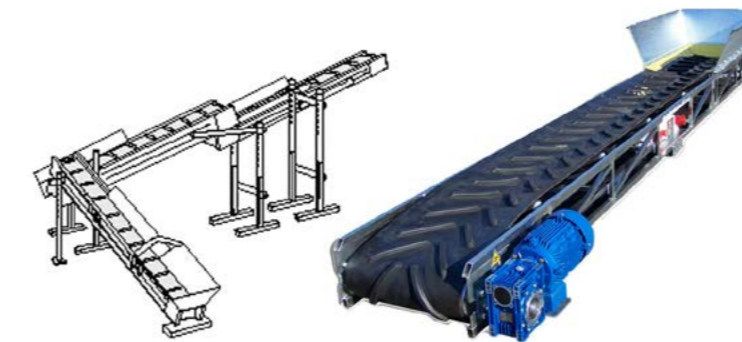


Fig.329 Combinazione di nastri trasportatori e modulo singolo.

Tab.298 Caratteristiche dimensionali dei nastri trasportatori.

CARATTERISTICHE TECNICHE		
Lunghezza massima (elemento)	m	6
Larghezza massima	m	0,47
Larghezza utile di trasporto	m	0,4
Velocità	m/s	0,35
Pendenza massima	%	30

Ovviamente durante l'esecuzione dei lavori saranno necessari altri mezzi e altri strumenti, che però non rivestono particolare significato in questa sede e che pertanto non è necessario analizzare. Nelle tavole allegate tuttavia, per ogni fase sono riportati i veicoli e gli strumenti da utilizzare, a dimostrazione del fatto che ognuno di essi è stato scelto in relazione alla fattibilità delle operazioni costruttive.

8.3.2 FASI DI CANTIERE

Si illustrano nel presente paragrafo le fasi necessarie alla realizzazione dell'edificio. In questa sede si è cercato di affrontare tutti i principali aspetti inerenti alla costruzione dell'opera. Sono state analizzate, sia in alzato che in planimetria, le principali ipotesi organizzative di cantiere, con la consapevolezza che nella realtà potrebbero esserci alcune varianti di quanto verrà ora definito, in relazione alle condizioni al contorno e agli esecutori delle differenti lavorazioni.

Le suddette ipotesi sono espresse mediante i layout di cantiere, nelle Tavole da 59 a 82. Di seguito si riportano invece degli estratti schematizzati degli elaborati Tavole da 83 a 87, che consentono in maniera più intuitiva di comprendere come si sviluppa concretamente il progetto.

8.3.2.1 ALLESTIMENTO DEL CANTIERE

L'inizio dei lavori si ha in corrispondenza con la prima fase dei movimenti terra, attraverso la quale si rimuove lo strato superficiale dell'area e si costituisce un piano uniforme e agibile, sia dai mezzi che dagli operatori, per la successiva posa degli allestimenti di cantiere (baracche per logistica e servizi). Prima di ciò si predispongono la recinzione di cantiere e la demolizione delle preesistenze, che in questo caso sono costituite da un arbusto e un muro di sostegno.

Come già accennato in precedenza, sino alla posa in opera degli elementi prefabbricati all'interno del cantiere si ha la ripetizione delle stesse operazioni, realizzate prima nell'area " A " e poi nell'area " B ". Quanto esposto ora fa riferimento alla prima condizione di layout.

8.3.2.2 SCAVO E MOVIMENTO TERRA

L'edificio si sviluppa nella sua parte interrata sino ad una quota di 9 m, pertanto, il livello degli scavi dovrà raggiungere tale profondità. Dovendo eseguire dei fronti perfettamente verticali è necessario effettuare prima il consolidamento delle pareti e, solo successivamente, procedere per livelli differenti con gli scavi. La gestione di questa fase ha previsto la realizzazione di una rampa di accesso agli stessi in diretta continuità con l'ingresso all'area, e disposta lungo il perimetro del cantiere. Le soluzioni che si riportano partono dal presupposto che:

- non è agevole utilizzare mezzi di dimensioni notevoli, considerando la difficoltà di accesso all'area e i ridotti spazi di manovra, nonché la volontà di non permanere sul suolo pubblico;
- l'area degli scavi ha dimensioni ordinarie, tali quindi da non giustificare il ricorso a mezzi di dimensioni sproporzionate, sia in eccesso che in difetto.

Si è scelto di conseguenza di eseguire lo scavo per fasi, suddividendo rampa e fondo scavo per dislivelli di 3 m l'uno. Così facendo è possibile rispettare le pendenze per le rampe e ricorrere ad escavatori e trattrici ordinari.

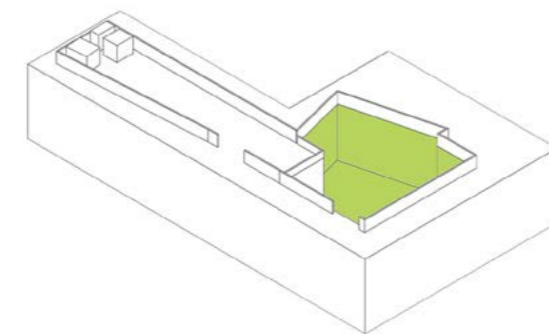


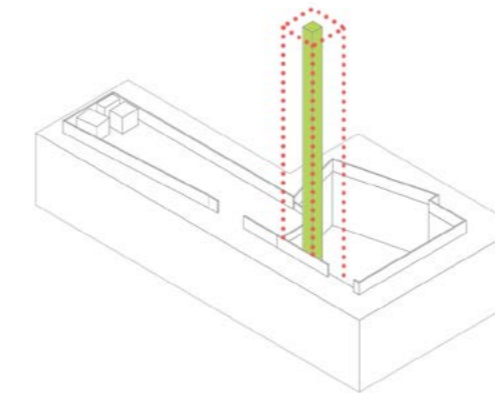
Fig.330 Scavo e movimento terra, soluzione layout A.

Fase terminale degli scavi per la condizione "A" di layout.

Quota raggiunta -9.00 m

Mezzi e terra verranno rimossi nelle fasi successive, dopo aver installato la gru di cantiere.

Giunti all'ultimo livello si procede all'installazione della gru, la cui base fungerà da plinto di fondazione per il corpo scale. Gli scavi si concludono rimuovendo anche la rampa di accesso agli stessi. Durante questa fase la movimentazione della terra avviene mediante nastri trasportatori e, se necessario, mediante gru. Anche i mezzi che rimangono sul fondo degli scavi si estraggono mediante l'utilizzo della gru (se necessario con l'ausilio di un'autogru).



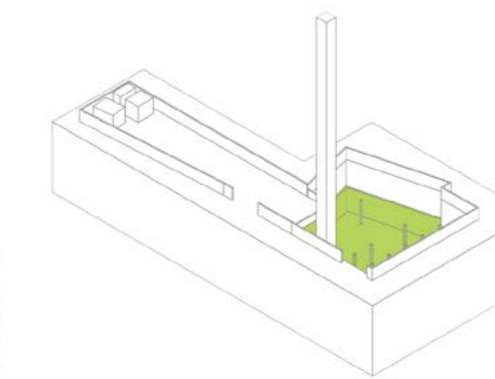
Installazione della gru nello spazio che verrà occupato dal vano scale (struttura prefabbricata in acciaio) e dall'ascensore.

Fig.331 Installazione della gru di cantiere.

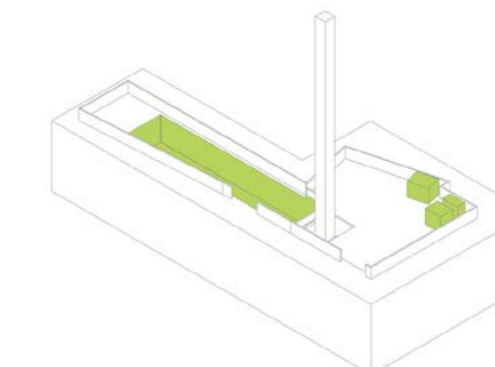
8.3.2.3 CASSERATURA E GETTO

Dopo aver sgombrato l'area dalla terra risultante dagli scavi è possibile procedere all'allestimento dei casseri per la realizzazione delle pareti controterra. Prima di procedere alla cassetta, è preferibile uniformare il livello dei micropali mediante pannelli in legno (tipo OSB), sui quali posare un manto di impermeabilizzazione e il sistema di cassetta a perdere. Nel caso in esame si utilizzano casseri a perdere isolanti, al fine di creare una scocca esterna protettiva per gli elementi controterra. Disposta la cassetta, la cui movimentazione avviene mediante la gru, si procede al getto delle pareti controterra e, dopo la relativa casse-

ratura, al getto di pilastri ed orizzontamenti. Si procede con la stessa logica sino ad arrivare alla soletta controterra del piano 0. terminate le opere in calcestruzzo armato si lasciano i sistemi di puntellazione attivi, al fine di poter utilizzare le solette realizzate, come base di appoggio per la gestione del cantiere durante le fasi " B ". Giunti anche per questo livello alla soletta controterra, si realizzano pilastri e travi del livello 0, e gli elementi in calcestruzzo del vano scale.



Si procede, per livelli, alla disposizione della cassetta e al getto degli elementi strutturali nel seguente ordine: solette, pilastri e travi. Queste operazioni sono comprensive delle parti in calcestruzzo che costituiscono il vano scale.



Le stesse operazioni seguite con il cantiere organizzato con il layout A, vengono effettuate anche per la condizione B, sino alla realizzazione del primo piano fuori terra.

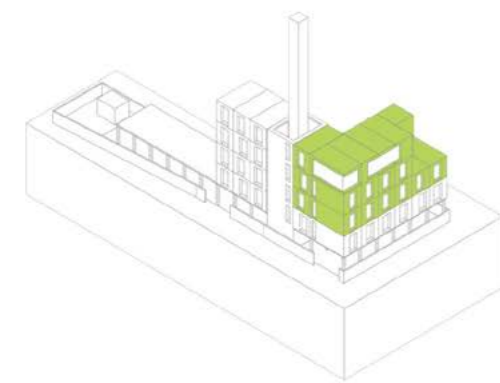
Fig.332 Casseratura e getto livelli interrati per le differenti configurazioni di layout.

8.3.2.4 POSA IN OPERA DEI MODULI PREFABBRICATI

Una volta realizzata la “base” su cui poter posare i moduli si procede alla messa in opera degli stessi. Poichè, come si è già mostrato in precedenza, il trasporto di questi avviene nella fascia notturna, la loro posa in opera risulta strettamente vincolata dalle condizioni di trasporto. Mediante l'utilizzo della gru e l'ausilio di una piattaforma aerea, si movimentava singolarmente ogni singolo modulo e lo si posa nella sua configurazione definitiva, rispetto la quale verrà fissato mediante la giunzione dei corner casting. La logica di successione della posa in opera dei container segue le esigenze di giunzione degli stessi ed è volta a facilitare e ridur-

Come mostra la schema a fianco, si posano prima i moduli del corpo Est-Ovest, per poi completare le operazioni con il blocco Nord-Sud.

Si procede per piano, partendo sempre dal container più interno, e quindi più vincolato, sino a quello più esterno, e quindi con gradi di libertà maggiore. Questa fase si conclude con la posa di tutti i moduli prefabbricati. Durante la posa degli stessi si procede alle operazioni, seppure minime, di finitura e giunzione all'interno di quelli già collocati. Anche ai livelli interrati e al piano terra, vengono nel frattempo eseguite le operazioni di completamento. Si posano infatti le chiusure e le partizioni, per poi procedere alle operazioni di finitura. Così facendo si ottimizzano le attività all'interno del cantiere, senza creare interferenze fra gli operatori e svolgendo il tutto in assoluta sicurezza.



■ Fase relativa alla posa dei moduli prefabbricati
 ■ Vincoli aerei predominanti

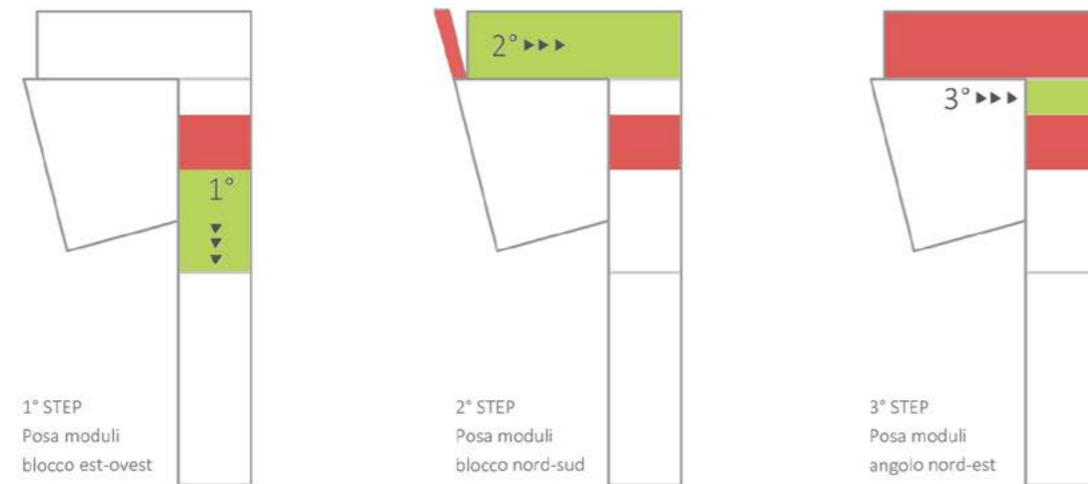


Fig.333 Schema sequenza di posa degli elementi prefabbricati.

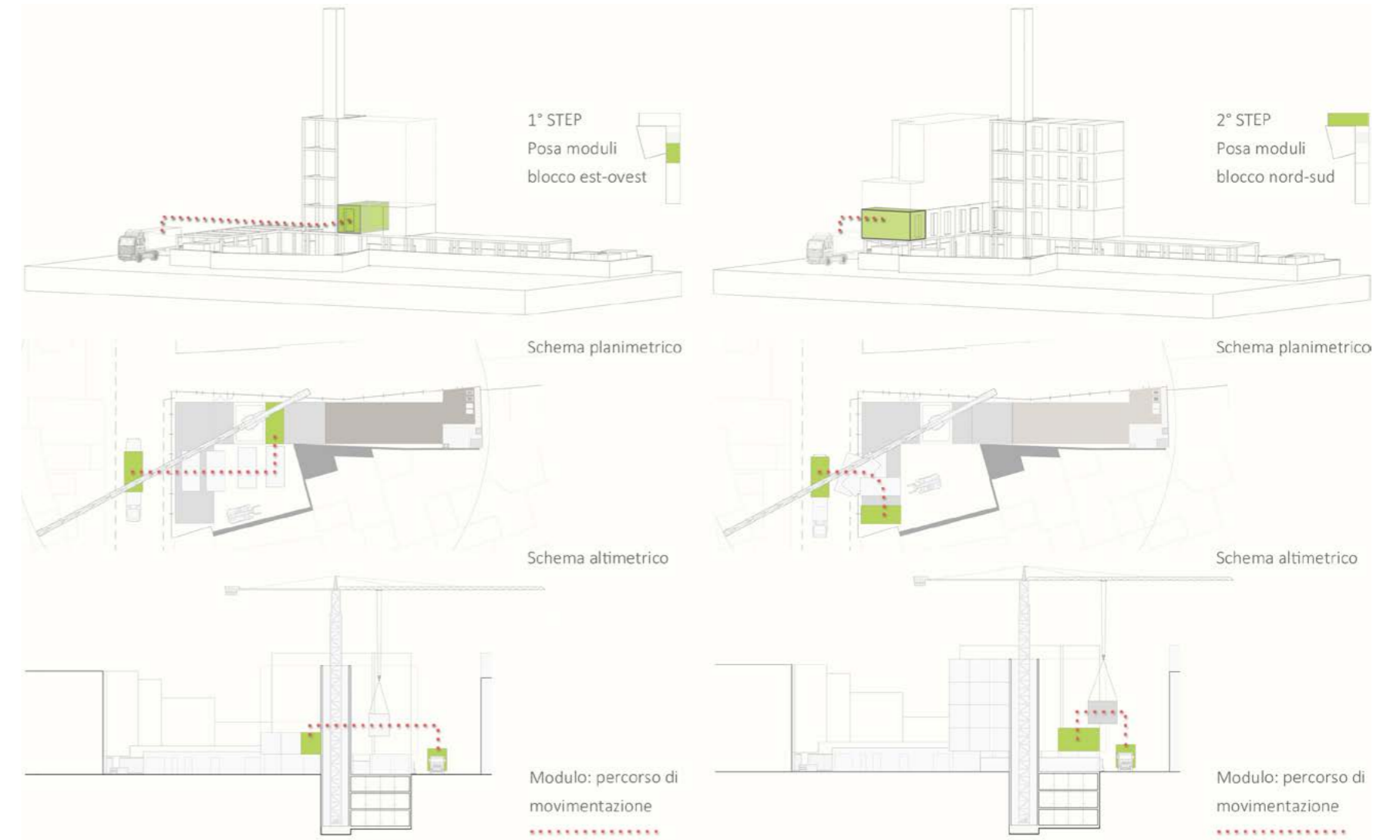


Fig.334 Posa in opera dei moduli: analisi del percorso di movimentazione

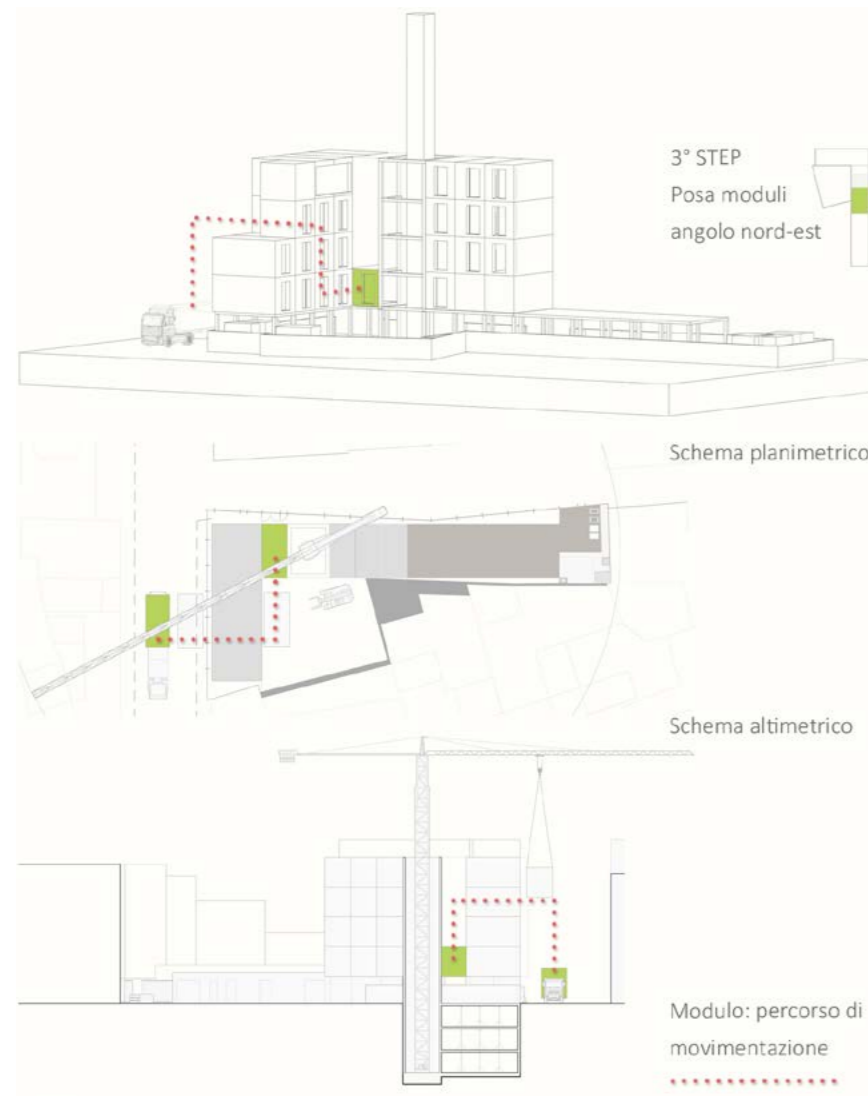


Fig.335 Posa in opera dei moduli: analisi del percorso di movimentazione

8.3.2.5 FINITURA SUPERFICIALE ESTERNA

I moduli prefabbricati, una volta installati, necessitano del completamento dello strato di finitura superficiale, oltre al tamponamento delle stratigrafie in corrispondenza dei corner casting. Per eseguire queste operazioni è prima necessario installare i ponteggi su tutte le facciate dell'edificio. Si è scelto di predisporre ponteggi a sbalzo, ancorati al piano terra mediante l'infissione di apposita trave al fine di non occupare suolo pubblico. terminate le operazioni di finitura si procede con la disinstallazione dei ponteggi. Il completamento del piano terra avviene senza la presenza degli stessi. Durante questa fase la presenza della recinzione di cantiere risulta superflua, se non addirittura di intralcio alle lavorazioni. Per questo motivo la si limita a quelle parti che potrebbero costituire accesso all'area del cantiere (servizi e logistica, accesso alla corte, ecc. ...).

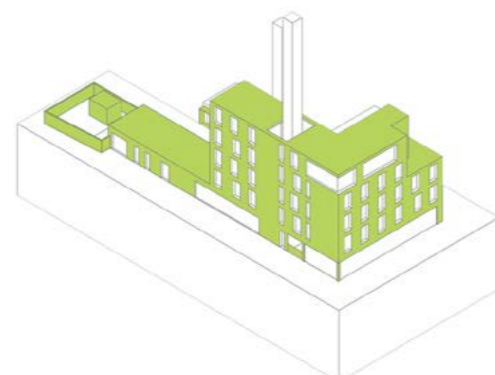


Fig.336 Operazioni di finitura superficiale esterna.

8.3.2.6 POSA IN OPERA DI SERRE E CORNICI

Gli ultimi elementi necessari al completamento dell'edificio sono le serre e le cornici, anch'esse prefabbricate.

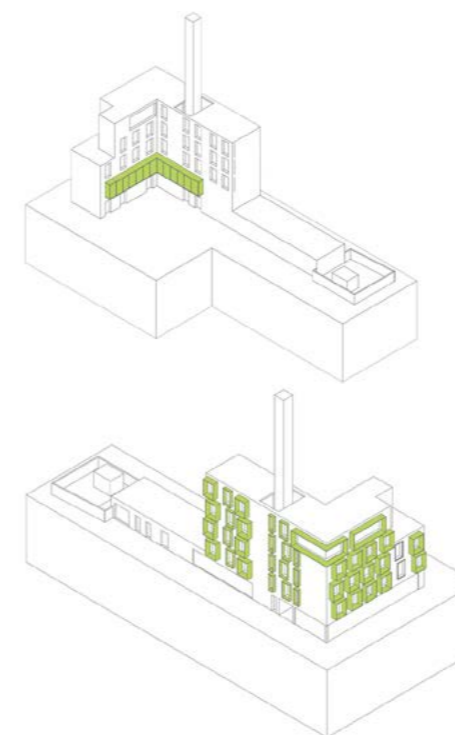


Fig.337 Posa in opera di serre e cornici prefabbricate.

La loro installazione avviene con la stessa logica seguita per la posa dei moduli. Si hanno ovviamente differenti modalità di giunzione con gli elementi strutturali dei moduli retrostanti.

Dopo aver steso lo strato di finitura superficiale (rasatura) si procede con la posa delle serre e, dopo di queste, delle cornici. Così facendo, mentre si posano queste ultime, si portano a termine le operazioni, più delicate, di giunzione e completamento delle serre.

8.3.2.7 DISINSTALLAZIONE GRU E OPERAZIONI DI COMPLETAMENTO

Per poter concludere la realizzazione del progetto è necessario posare anche il corpo scale e il vano ascensore, nonché lo strato continuo di copertura dello stesso e di tutto l'edificio. Queste operazioni vengono condotte dopo aver smontato la gru e inserito, mediante autogru, le componenti del corpo scale e l'ascensore. Solo successivamente sarà possibile eseguire la parte di copertura del vano e posare uno strato di continuità all'esterno di tutti i container. Unitamente a queste operazioni vengono eseguite anche tutte quelle attività minori che necessitano di essere applicate a tutto l'edificio (scossaline, strati continuità).

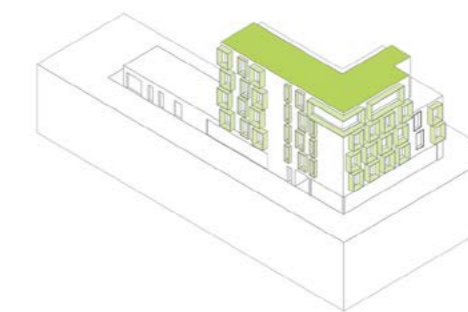


Fig.338 Operazioni di completamento della copertura.

Concluse le operazioni di posa di serre e cornici, si rimuove la gru, posizionando la struttura del corpo scale e l'ascensore.

Successivamente si conclude la copertura orizzontale e gli allestimenti esterni all'edificio.

8.4 CONFRONTO QUALITATIVO FRA TECNOLOGIE

La tecnologia a moduli prefabbricati, come si è appreso nel corso di quanto scritto sin ora, presenta innumerevoli sfaccettature, con conseguenti aspetti favorevoli o meno al loro utilizzo. Data la peculiarità dell'area di progetto, è di fondamentale importanza mostrare che, anche e soprattutto da un punto di vista operativo, l'adozione di una soluzione così innovativa apporta effettivamente notevoli vantaggi.

La descrizione dei layout di cantiere appena esposta, rileva già una semplificazione nella gestione delle lavorazioni, seguita da un proporzionale aumento della sicurezza. Si vuole ora mostrare che queste scelte hanno anche ripercussioni positive sotto un profilo tempistico ed economico.

8.4.1 CONFRONTO ECONOMICO

L'aspetto economico della tecnologia adottata potrebbe anche non dover essere un punto di forza della stessa. Questo poiché una riduzione della durata del cantiere, una maggiore qualità del prodotto (conferita dall'esecuzione controllata in fabbrica) ed un rispettivo aumento della sicurezza, potrebbero essere già sufficienti a giustificarne l'utilizzo. Nell'ottica di un processo di ottimizzazione, quale è intrinsecamente anche la soluzione prefabbricata, si è voluto indagare l'onere economico relativo alla tecnologia in questione. Anche la particolare destinazione d'uso dell'edificio richiede una concreta attenzione e parsimonia nella spesa complessiva necessaria alla sua realizzazione.

Il ricorso a materiali sostenibili e di uso comune nell'hinterland milanese rendono il progetto già sufficientemente sostenibile da un punto di vista economico. La vera sfida risiede nel dimostrare che la soluzione adottata, risulta più conveniente di altre, il tutto a parità di prestazioni energetiche e tecnologiche. Per questo motivo è stata eseguita una comparazione dei costi di realizzazione, fra la soluzione in atto ed una realizzata con tecnologia stratificata a secco. La scelta di quest'ultima è dipesa dai seguenti fattori:

- similitudine dei materiali utilizzati (tecnologia a secco, struttura in acciaio ...);
- confrontabilità della superficie occupata da chiusure e partizioni (spessori);
- comparabilità energetica (in termini di prestazioni offerte: trasmittanza, sfasamento, inerzia termica ...).

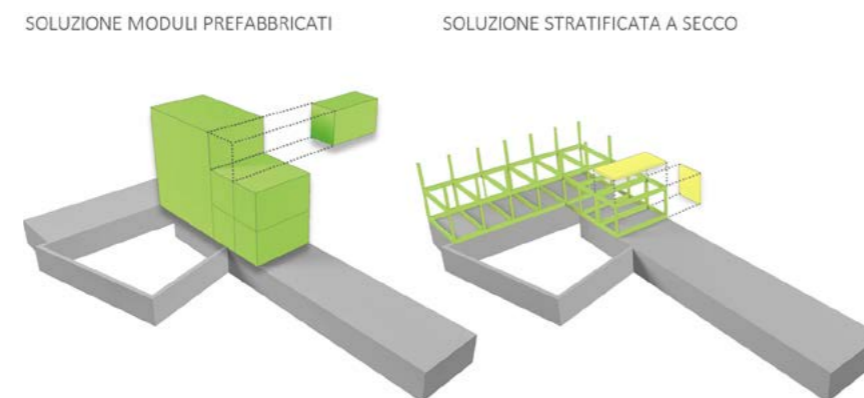


Fig.339 Progetto realizzato con la tecnologia prefabbricata o stratificata a secco.

Per poter definire il costo dell'opera, è stato necessario redigere un computo metrico per voci di lavoro.

Uno strumento imprescindibile per procedere alla valutazione di tale computo è il Prezziario. Per questo progetto si è fatto riferimento al " Listino prezzi Opere Pubbliche e manutenzioni del Comune di Milano, 2013 " attraverso il quale è stato possibile individuare la quasi totalità delle lavorazioni poiché l'edificio preso in considerazione presenta caratteristiche ordinarie. I prezzi presi in analisi si riferiscono in particolare alla sezione " Opere Compiute " in cui le varie lavorazioni sono considerate nella loro messa in opera e quindi stimate non solo in base al costo del materiale, ma anche di noli e manodopera.

Nei casi in cui non è stato possibile fare riferimento a questi strumenti per la determinazione del costo di una lavorazione, si è proceduto alla definizione di un nuovo prezzo, in alcuni casi considerando anche preventivi forniti dalle imprese produttrici degli specifici materiali. Tale operazione è stata eseguita, ad esempio, per la determinazione del costo del singolo modulo prefabbricato o del trasporto dello stesso. Poiché scopo di tale analisi è un confronto, in termini economici, fra due tecnologie costruttive differenti, sono state trascurate tutte quelle voci che si sarebbero ripetute identiche in entrambi i casi, e che non avrebbero costituito quindi elemento di variazione del prezzo specifico per una soluzione. In sintesi, il confronto riguarda quindi quella parte di edificio che, nell'ipotesi attuale, viene realizzata mediante i moduli prefabbricati (come evidenziato nello schema precedentemente riportato). Non avendo inoltre a disposizione un costo per ogni differente tipologia di modulo, sono state mantenute solo le principali tipologie di stratigrafie presenti all'interno del progetto. Dal computo così redatto è possibile individuare una divisione delle lavorazioni associabili alle differenti tipologie di imprese. Tale passaggio fornisce una base per le successive operazioni di programmazione del cantiere [Rif. Paragrafo 8.4.2]

Per quanto riguarda il computo metrico degli elementi tecnici (pacchetti tecnologici di partizioni e chiusure), esso è composto dalla somma dei prezzi delle varie lavorazioni, definito per m^2 . Elementi come serramenti, porte, ecc... , invece, sono stati computati cadauno, considerandone le varie caratteristiche specifiche come materiali e dimensioni. Per quanto concerne il computo delle strutture in acciaio si procede in una prima fase alla determinazione, per ogni voce di lavoro, dei prezzi unitari; successivamente si calcolano le effettive quantità di materiali necessari per l'esecuzione dell'intera struttura. Infine si applica il prezzo unitario di ogni singola voce di lavoro alla rispettiva quantità desumendo in questo modo il prezzo totale dell'opera. Considerando le peculiari condizioni al contorno, i prezzi dei lavori da eseguire in sito sono stati implementati di un fattore pari a 1,3 (valore stimato a favore di sicurezza, usualmente si assumono per casi simili fattori di moltiplicazione dell'ordine di 1,4–1,5). In tal modo si può effettivamente considerare le più critiche condizioni al contorno (forma irregolare del lotto, accessibilità limitata al sito, localizzazione in un'area densamente urbanizzata, vicinanza con destinazioni d'uso sensibili, ecc. ...) di cui un prezziario non tiene conto, in quanto redatto per situazioni standard. Seguendo la stessa logica è stato utilizzato un fattore riduttivo, pari a 0,8 , per considerare il risparmio ottenuto attraverso la prefabbricazione.

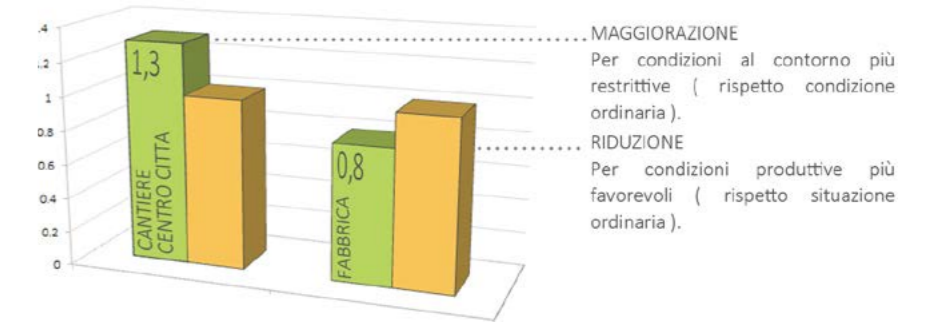


Fig.340 Applicazione di fattori correttivi ai prezzi standard definiti dai prezziari.

Codice riferito al Prezziario del Comune di Milano

Prezzo definito da prezziario o determinato sulla base di ricerche di mercato.

Applicazione del fattore correttivo ai prezzi ordinari precedentemente determinati.

Quantità riferite alla parte di progetto corrispondete a quella realizzata con tecnologia prefabbricata.

ELEMENTO TECNICO	MATERIALE	CODICE PER VOCE DI LAVORO	DESCRIZIONE LAVORAZIONE	PREZZO UNITARIO	FATTORE AMPLIFICATIVO	U.M.	QUANTITÀ	U.M.	PREZZO TOTALE (€)
				[€/...]			[€/...]		[€]
STRUTTURE									

PILASTRO P1	Acciaio	C15005	Carpenteria metallica di qualsiasi sezione e dimensione per travature semplici o composte per solai, ossature, rampanti e ripiani, scale, pensiline, balconi, ecc...con fori, piastre, squadre, tiranti, bulloni, elettrodi, ecc..dati in opera bullonati o saldai compresa una mano di minio o di vernice antiruggine, comprese opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte, per materiale classificato nelle norme del 04/02/2008 con gradi dal S325 a S460 per travature semplici	2.86	1.30	[€/Kg]	31'382.12	[Kg]	116'678.72
TRAVE DI BORDO T1	Acciaio	C15005a	Carpenteria metallica di qualsiasi sezione e dimensione per travature semplici o composte per solai, ossature, rampanti e ripiani, scale, pensiline, balconi, ecc...con fori, piastre, squadre, tiranti, bulloni, elettrodi, ecc..dati in opera bullonati o saldai compresa una mano di minio o di vernice antiruggine, comprese opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte, per materiale classificato nelle norme del 04/02/2008 con gradi dal S325 a S460 per travature semplici	2.86	1.30	[€/Kg]	52'933.75	[Kg]	196'807.6€
TRAVE SBALZO SERRA/CORNICE	Acciaio	C15005a	Carpenteria metallica di qualsiasi sezione e dimensione per travature semplici o composte per solai, ossature, rampanti e ripiani, scale, pensiline, balconi, ecc...con fori, piastre, squadre, tiranti, bulloni, elettrodi, ecc..dati in opera bullonati o saldai compresa una mano di minio o di vernice antiruggine, comprese opere murarie e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte, per materiale classificato nelle norme del 04/02/2008 con gradi dal S325 a S460 per travature semplici	2.86	1.30	[€/Kg]	3'111.78	[Kg]	11'569.60

Fig.341 Estratto del computo metrico estimativo.

Eseguita la stima dei prezzi di tutte le lavorazioni, dalla loro somma è stato possibile definire il costo complessivo dell'opera. Questo è stato a sua volta suddiviso per la superficie lorda di pavimento, così come viene definita dall'art. 10 del Regolamento Edilizio del Comune di Milano, ottenendo il costo a metro quadrato. Si ottiene così il primo valore che dimostra il vantaggio conferito dall'utilizzo dei moduli prefabbricati.

Tab.299 Soluzione S/R e tecnologia prefabbricata: confronto durata cantiere.

	COSTO TOTALE	S.L.P.	COSTO UNITARIO
	€	m ²	€/m ²
SOLUZIONE A MODULI PREFABBRICATI	1'547'104.13	1'170.00	1'322.31

Per una costruzione in prossimità di Brera, un risparmio di quasi 200 €/m² è molto significativo. Con riferimetro ad un alloggio singolo si ha infatti una riduzione della spesa di 6804 €.

	COSTO TOTALE	S.L.P.	COSTO UNITARIO
	€	m ²	€/m ²
SOLUZIONE STRATIFICATA A SECCO	1'773'910.81	1'170.00	1'516.16

■ COSTO SOLUZIONE MODULI PREFABBRICATI
■ COSTO SOLUZIONE STRATIFICATA A SECCO
■ COSTO RISPARMIATO (con soluzione prefabbricata)

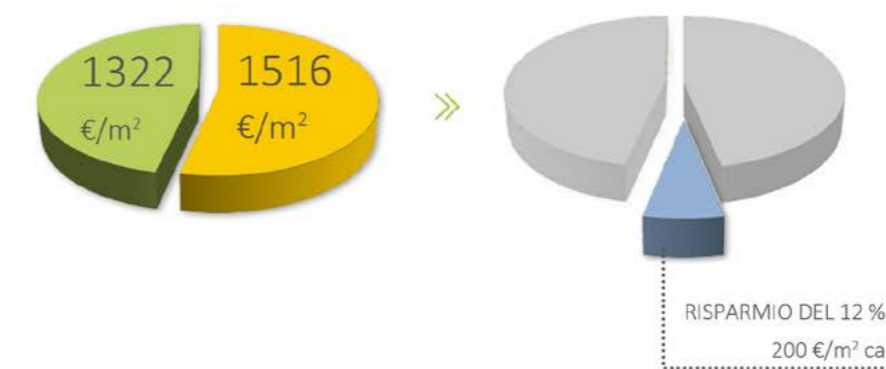
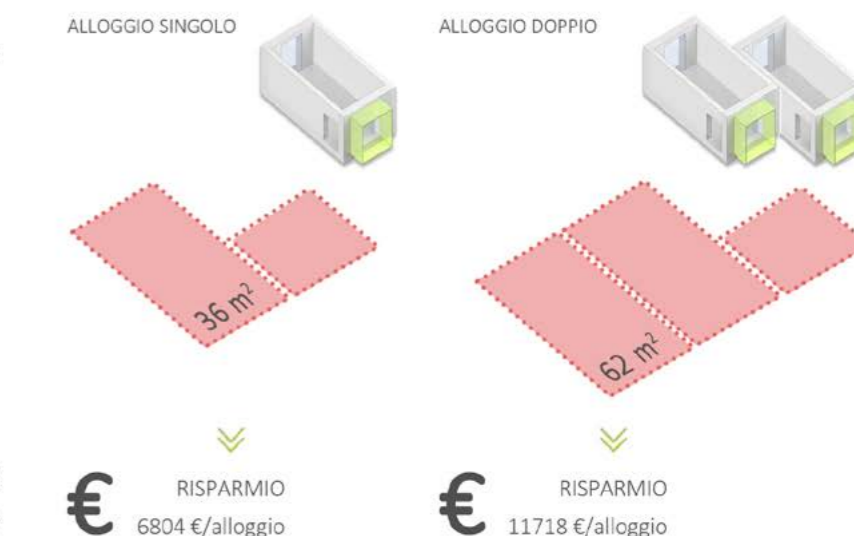


Fig.342 Schematizzazione analisi economiche



Oltre che per la determinazione del costo dell'opera (indicativa), l'elaborazione del computo metrico risulta utile per la successiva determinazione della durata, intesa come periodo di tempo previsto per lo svolgimento di una o più lavorazioni. Non si considerano in questa prima fase la relazione e le successioni fra le varie attività, le quali verranno elaborate in seguito mediante la creazione di un diagramma di Gantt.

Si riportano in questo ambito le prime stime delle durate in quanto connesse allo sviluppo del computo metrico estimativo. È utile ricordare che la durata e le risorse impiegate non sempre procedono linearmente tra di loro, ossia non è sempre detto che aumentando le risorse diminuisca la durata. Tali effetti sono legati alla tipologia delle lavorazioni e alle loro modalità di esecuzione. Considerando la natura delle lavorazioni, le dimensioni e la posizione del cantiere, non si è voluto eccedere con la presenza di differenti squadre operative in contemporanea.

Il numero dei componenti per ognuna di esse è stato inoltre mantenuto nell'ordine di 6-9 operai per squadra operativa (sulla base di 2-3 operai per ogni singola lavorazione, a seconda della tipologia).

La determinazione del numero degli uomini giorno, deriva dalla seguente formula : $P = C + (C \times 15\%) + (C + C \times 15\%) \times 10\%$ dove:

- P è il prezzo della lavorazione;
- C è il costo della lavorazione;
- (C x 15%) sono le spese generali;
- (C + C x 15%) corrisponde all'utile d'impresa.

Il metodo utilizzato per la determinazione della durata è quello " dell'incidenza percentuale della manodopera ". Tale procedimento parte dal principio che la determinazione del tempo necessario per lo svolgimento della lavorazione può essere calcolato in base al costo della squadra operativa incaricata di realizzare la stessa.

E' dunque implicito il fatto che la durata può essere determinata attraverso il calcolo del costo della mano d'opera a partire dal computo metrico estimativo. L'incidenza varia a seconda della lavorazione in funzione di differenti fattori, quali il grado di meccanizzazione , la dimensione del progetto da realizzare e le lavorazioni necessarie alla messa in opera dei materiali.

Si riporta nella pagina seguente uno stralcio del tabellone delle durate, esplicitivo del procedimento utilizzato per giungere all'elaborazione della stima tempistica.

Non si vuole in questo capitolo riportare tutti i calcoli analizzati, si rimanda per questo agli Allegati.

L'incidenza della manodopera viene definita mediante prezzario o attraverso una stima qualitativa

Il numero degli uomini giorno è determinato sulla base dei precedenti calcoli, in base al risultante costo giornaliero della manodopera.

La durata mediana costituisce la base per l'elaborazione della programmazione temporale (Diagramma di Gantt).

ELEMENTO TECNICO	MATERIALE	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA	UTILE D'IMPRESA (stimato in ragione del 10% sul prezzo della voce d'opera)	SPESE GENERALI (in ragione del 13% sul prezzo della voce d'opera già decurtato dall'utile d'impresa)	COSTI COMPONENTI LA VOCE D'OPERA (mano d'opera + noli e trasporti + materiali)	INCIDENZA mano d'opera	COSTO DELLA SOLA MANO D'OPERA COMPONENTE LA VOCE D'OPERA	ORE GIORNALIERE STANDARD DI LAVORO	COSTO ORARIO MANO D'OPERA	COSTO GIORNALIERO DELLA M.O.	UOMINI GIORNO	NUMERO COMPONENTI LA SQUADRA OPERATIVA STANDARD	DURATA "NORMALE" DELLA VOCE D'OPERA	DECREMENTO PERCENTUALE DELLA DURATA DELLA VOCE D'OPERA IN CONDIZIONI OTTIMISTICHE	DURATA "OTTIMISTICA"	INCREMENTO PERCENTUALE DELLA DURATA DELLA VOCE D'OPERA IN CONDIZIONI PESSIMISTICHE	DURATA "PESSIMISTICA"	DURATA MEDIANA "Dme"	VARIABILE ALEATORIA S
€	€	€	€	€	€	%	€	h	€	€			g	%	g	%	g	g	g
7'527.37	684.31	892.57	5'950.49	0.60	3'570.30	8.00	32.16	257.28	13.88	6.00	2.31	0.01	2.29	0.10	2.54	2.35	0.04		
2'886.44	262.40	342.27	2'281.77	0.48	1'083.84	8.00	32.16	257.28	4.22	6.00	0.70	0.01	0.70	0.10	0.77	0.72	0.01		
26'657.09	2'423.37	3'160.92	21'072.80	0.52	10'968.39	8.00	32.16	257.28	42.64	9.00	4.74	0.01	4.69	0.10	5.21	4.81	0.09		
56'596.80	5'145.16	6'711.08	44'740.55	0.50	22'370.28	8.00	32.16	257.28	86.95	9.00	9.66	0.01	9.56	0.10	10.63	9.81	0.18		

Fig.343 Estratto del tabellone delle durate.

8.4.2 CONFRONTO TEMPISTICO

Il contenimento delle tempistiche è forse uno degli obiettivi principali legato al tema della prefabbricazione. Realizzando la maggior parte dell'opera in un ambiente estraneo al cantiere, allo stesso si demandano solo attività di posa in opera e finitura degli elementi prefabbricati. La riduzione della durata di un cantiere racchiude in sé una serie di vantaggi collaterali fra i quali è possibile ricordare:

- risparmio economico (minore spesa dovuta ad un minore utilizzo delle risorse, sia di proprietà che in noleggio);
- riduzione dell'inquinamento (visivo, acustico ...) verso il contesto limitrofo;
- riduzione dei rischi verso l'ambiente esterno e la relativa utenza (finchè esiste il cantiere, permane la condizione di pericolo per i non addetti ai lavori);
- riduzione tempo che intercorre fra progetto e realizzazione dell'opera.

Anche in questo caso, la dimostrazione del vantaggio in termini di durata è stata esplicitata continuando il precedente confronto economico. Lo strumento necessario per la stima della durata di un cantiere è il Diagramma di Gantt, strumento attualmente in uso a corredo dei progetti esecutivi, già previsto dal *DPR n.554/1999 (Titolo II)*.

Questo è costituito essenzialmente da una graficizzazione delle informazioni riguardanti le lavorazioni omogenee contenute nel “ Tabellone delle Durate ” in cui le attività concorrenti alla realizzazione dell'opera sono classificate secondo le fasi del progetto. Le informazioni ricavate da tale documento ed utilizzate in fase di compilazione del cronoprogramma riguardano le tempistiche “ normali ” necessarie allo svolgimento della lavorazioni.

La graficizzazione delle lavorazioni descritte nella WBS, avviene in modo che-

queste siano ordinate secondo la sequenza logica progettuale. Il diagramma è solitamente redatto al fine di stabilire in via convenzionale la durata dell'intero intervento prospettando la data di consegna finale dei lavori. Il diagramma permette inoltre la verifica della programmazione effettuata tramite il controllo di interdipendenze tra le diverse lavorazioni e di eventuali interferenze per lavorazioni contemporanee. In questa sede il cronoprogramma è stato redatto a scopo qualitativo, sviluppando ogni singola fase sulla base dei dati a disposizione, con le conseguenti approssimazioni. Si può notare ad esempio che alcune attività hanno durata unitaria. Questa scelta è stata adottata per riportare sul diagramma quella fasi fondamentali, comuni ad entrambe le tecnologie, per le quali non è stata quindi eseguita una stima economica e, di conseguenza, tempistica. Il loro inserimento all'interno dell'elaborato facilita la comprensione del processo di costruzione dell'edificio. Avendo eseguito il confronto con dei pacchetti tecnologici “ tipo ”, non sono state suddivise le fasi per ogni singolo piano, esplicitando quindi direttamente il valore complessivo.

Di seguito si riporta uno stralcio del cronoprogramma, redatto per la soluzione prefabbricata e per quella stratificata a secco, dal quale è possibile vedere come è stato strutturato lo stesso:

- descrizione delle lavorazioni;
- durata delle lavorazioni;
- inquadramento temporale con individuazione delle precedenze;
- restituzione grafica.

Nell'elenco delle lavorazioni compaiono, con durata nulla, gli step burocratici necessari per il proseguimento dei lavori (presentazione dei Piani Operativi di Sicurezza ogni volta che una nuova impresa opera nel cantiere).

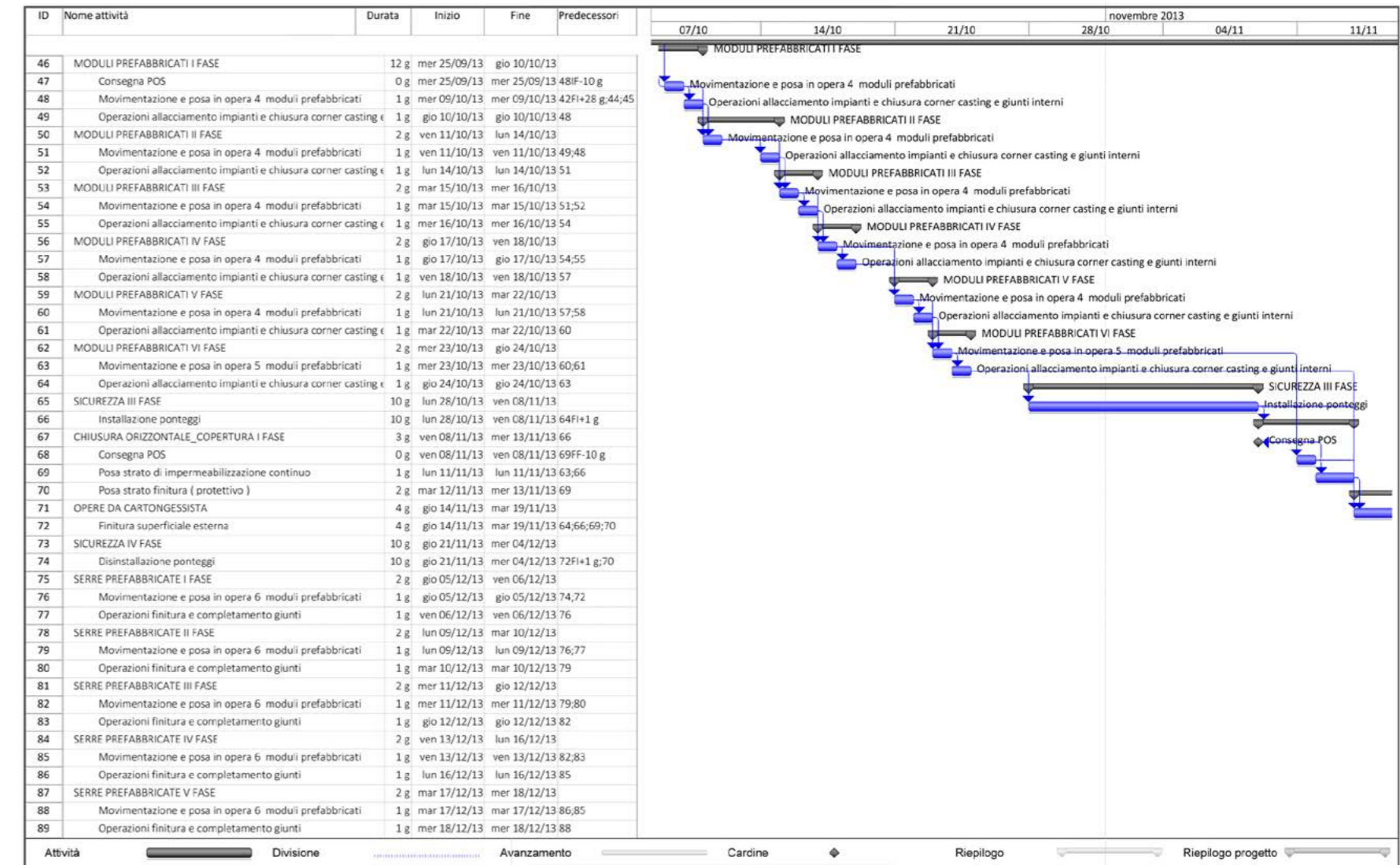


Fig.344 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione prefabbricata.

CHIUSURA ORIZZONTALE _ COPERTURA	20 g	gio 19/12/13	mer 15/01/14
Consegna POS	0 g	gio 19/12/13	gio 19/12/13 52F-10 g
Strato di ripartizione dei carichi (lamiera grecata)	4 g	gio 02/01/14	mar 07/01/14 49:44
Posa strati orizzontali e isolanti termici e acustici	4 g	mer 08/01/14	lun 13/01/14 52
Posa guaina impermeabilizzante	1 g	mar 14/01/14	mar 14/01/14 53
Posa finitura esterna e sistemi di raccolta orizzontali	1 g	mer 15/01/14	mer 15/01/14 54
STRUTTURA ORIZZONTAMENTI II FASE	12 g	gio 16/01/14	ven 31/01/14
Posa in opera strato ripartizione carichi partizioni oriz	12 g	gio 16/01/14	ven 31/01/14 55:44
OPERE DA CARTONGESSISTA I FASE (chiusure verticali)	27 g	lun 20/01/14	mar 25/02/14
Consegna POS	0 g	lun 20/01/14	lun 20/01/14 60F-10 g
Posa chiusura verticale a secco (lastre e sottostruttur	17 g	lun 03/02/14	mar 25/02/14 57
OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE (chiusura verticale)	1 g	mer 26/02/14	mer 26/02/14
Posa manto impermeabile di facciata	1 g	mer 26/02/14	mer 26/02/14 60
PARTIZIONI ORIZZONTALI I FASE	14 g	gio 13/02/14	mar 04/03/14
Consegna POS	0 g	gio 13/02/14	gio 13/02/14 65F-10 g
Posa strati tamponamento e isolanti termici e acustic	4 g	gio 27/02/14	mar 04/03/14 62:57
OPERE DA CARTONGESSISTA I FASE (partizioni interne)	14 g	mer 05/03/14	lun 24/03/14
Posa partizioni verticali a secco	14 g	mer 05/03/14	lun 24/03/14 65:62:55
IMPIANTI I FASE	27 g	mar 11/03/14	mer 16/04/14
Consegna POS	0 g	mar 11/03/14	mar 11/03/14 70F-10 g
Impianto idrico	5 g	mar 25/03/14	lun 31/03/14 65:67
Impianto elettrico	5 g	mar 25/03/14	lun 31/03/14 65:67
Impianto termico	17 g	mar 25/03/14	mer 16/04/14 65:67
OPERE DA CARTONGESSITA II FASE	43 g	gio 17/04/14	lun 16/06/14
Posa partizioni a secco (tamponamento e isolante termico e acustico di partizioni e chiusure verticali)	36 g	gio 17/04/14	gio 05/06/14 67:70:71:72:60:62:60
Rasatura cartongesso interni	7 g	ven 06/06/14	lun 16/06/14 74
OPERE DI FINITURA INTERNA	23 g	mar 03/06/14	gio 03/07/14
Consegna POS	0 g	mar 03/06/14	mar 03/06/14 78F-10 g
Posa controsoffitti	8 g	mar 17/06/14	gio 26/06/14 75:65:74:70:71:72
Finitura controsoffitti	5 g	ven 27/06/14	gio 03/07/14 78
OPERE DI PROTEZIONE TERMICA E ACUSTICA, RIVESTIMEN	36 g	gio 13/02/14	gio 03/04/14
Consegna POS	0 g	gio 13/02/14	gio 13/02/14 82F-10 g
Tamponamento e isolamento termico e acustico di fa	19 g	gio 27/02/14	mar 25/03/14 62
Posa lastre portaintonaco e isolamento esterno	7 g	mer 26/03/14	gio 03/04/14 82
OPERE DA FABBRO	1 g	ven 04/04/14	ven 04/04/14
Posa in opera pluviali	1 g	ven 04/04/14	ven 04/04/14 83
OPERE DA CARTONGESSISTA III FASE	4 g	lun 07/04/14	gio 10/04/14
Opere da intonacatore: finitura superficiale esterna	4 g	lun 07/04/14	gio 10/04/14 84:85
ELEMENTI ORIZZONTALI SERRE E CORNICI	13 g	ven 11/04/14	mar 29/04/14
Posa manto impermeabile	3 g	ven 11/04/14	mar 15/04/14 87:46:47
Posa strati tamponamento e isolanti termici e acustic	10 g	mer 16/04/14	mar 29/04/14 89
ELEMENTI VERTICALI SERRE E CORNICI	3 g	mer 30/04/14	ven 02/05/14
Posa elemento a secco	1 g	mer 30/04/14	mer 30/04/14 90:46:47
Finitura superficiale interna	1 g	gio 01/05/14	gio 01/05/14 92
Posa elemento verticale cornici	1 g	ven 02/05/14	ven 02/05/14 93
POSA SERRAMENTI	23 g	ven 20/06/14	mar 22/07/14

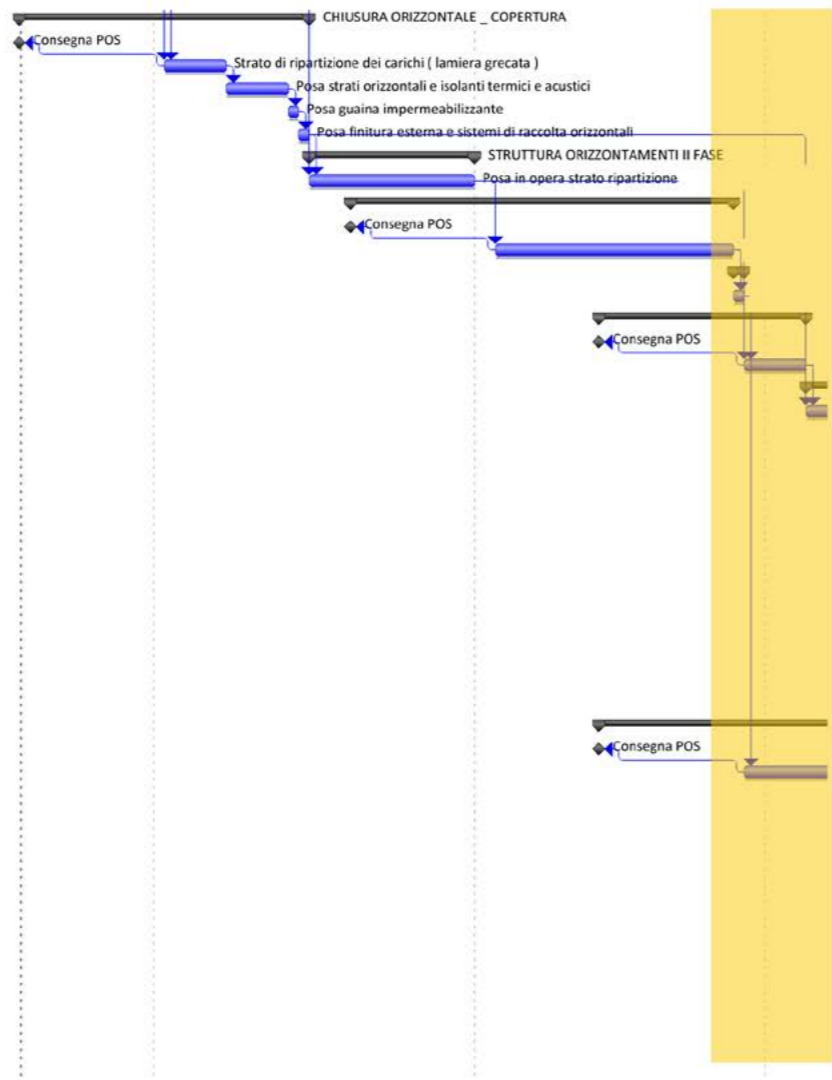


Fig.345 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione stratificata a secco.

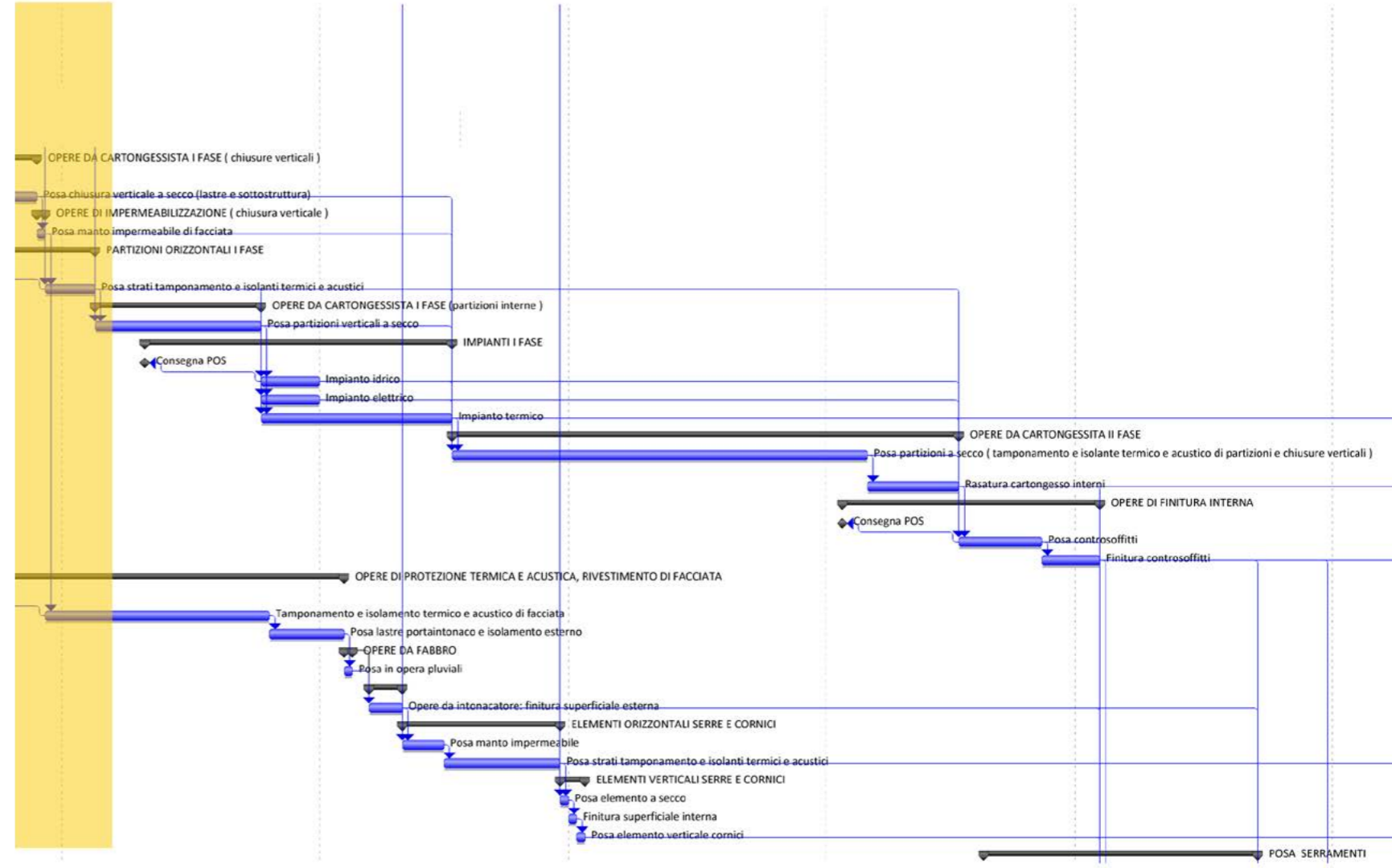


Fig.348 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione stratificata a secco.

Entrambi i diagrammi sono riportati interamente negli Allegati da Aa ad Ad.

Ne consegue che le differenti soluzioni presentno le seguenti durate:

Tab.300 Soluzione S/R e tecnologia prefabbricata: confronto durata cantiere.

SOLUZIONE TECNOLOGICA	DURATA CANTIERE
	giorni
SOLUZIONE A MODULI PREFABBRICATI	136
SOLUZIONE STRATIFICATA A SECCO	341

Dalla loro analisi, e dalla rielaborazione schematica dei grafici riportati, si può notare come la prefabbricazione “ elimini ” quelle fasi la cui durata ha un’incidenza percentuale elevata, se rapportata alla durata complessiva dell’opera.

Strutture, chiusure e partizioni costituiscono le lavorazioni principali per la realizzazione dell’opera. Per questo motivo attraverso la prefabbricazione si raggiunge una riduzione delle tempistiche così significativa. Il modulo giunge in cantiere già comprensivo di struttura e tamponamenti. Le operazioni di finitura e accessorie, seppur importanti, hanno un peso minore a livello temporale e possono pertanto essere completate in sito, senza vanificare l’utilizzo della prefabbricazione.

Alla riduzione delle tempistiche, corrisponde un relativo risparmio in termini di mezzi e manodopera, e quindi un indiretto risparmio economico di fondamentale importanza.

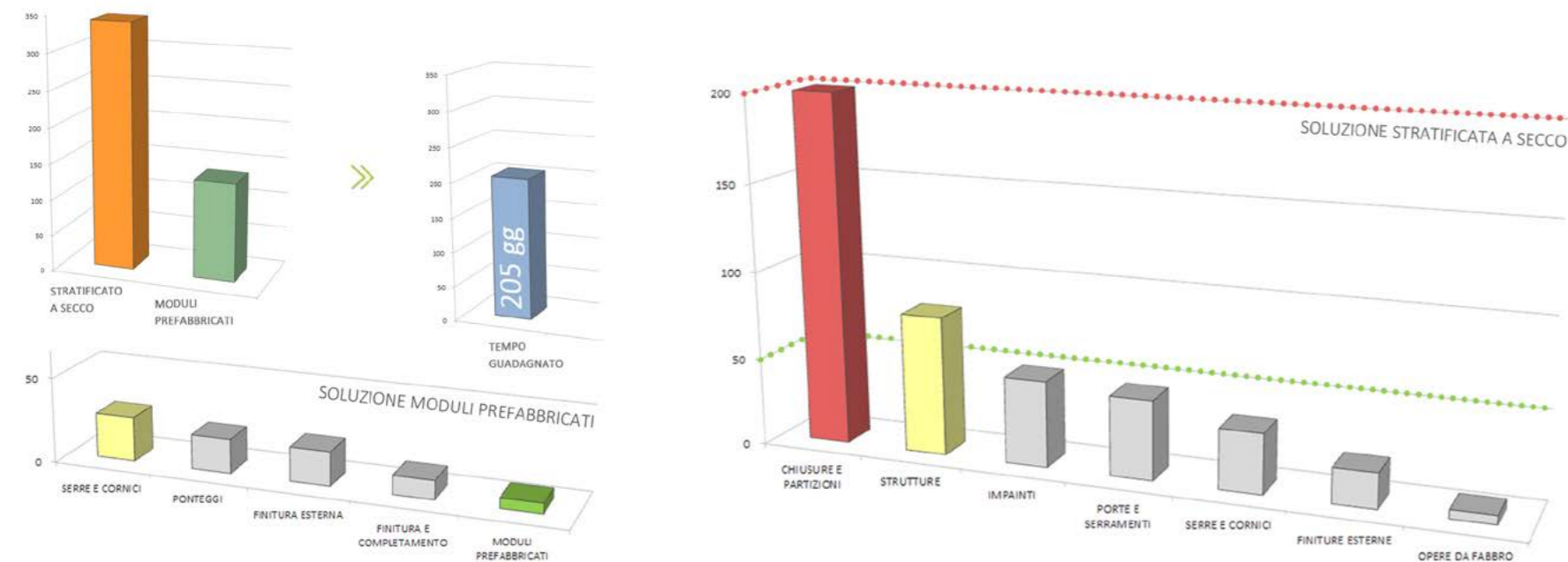


Fig.346 Confronto della durata del cantiere (tempistiche espresse in giorni).

09

CONCLUSIONI

CONCLUSIONI

Questa tesi è stata introdotta presentando il quadro generale all'interno del quale si è sviluppato il progetto stesso. Sono state anticipate le problematiche e le esigenze che si sono dovute affrontare.

Ora, giunte al termine di questo lavoro, vogliamo riassumere quanto esposto, e dimostrare che MODULA è, effettivamente, una Modular Optimized Design Urban Low energy Architecture.

“MODULA” racchiude in se la vera sfida, il fulcro dal quale sono nate e state approfondite tutte le sfaccettature di questo progetto. L'utilizzo di una tecnologia a moduli prefabbricati è il punto di partenza e il punto di arrivo di questa esperienza.

Il cambio di destinazione d'uso, rispetto al progetto finale del Compasso Volante, ci ha concesso da un lato, di inserirci con più forza nel sito e, dall'altro, di sfruttare meglio la tecnologia modulare. Un primo connubio che mostra come architettura e tecnologia siano due elementi inscindibili e dipendenti l'uno dall'altra. Un primo traguardo che siamo riuscite a raggiungere.

L'estensione della nuova destinazione d'uso si ritrova invece negli ambienti pubblici, i quali sono stati pensati a supporto non solo degli studenti, ma della collettività che vive nelle vicinanze di Via Palermo. Ne è un esempio significativo la Banca del Tempo, che utilizza la casa per studenti al fine di dar vita ad una nuova attività, fonte di sostentamento e di crescita per i giovani e per chi è sa cogliere l'opportunità di interagire con essi.

Un modo per connettere realmente il progetto con le persone che ne usufruiran-

no. Anche questo aspetto racchiude in se un duplice risvolto: l'ingegnerizzazione del progetto si sposa con le esigenze della società e con la necessità di creare spazi adatti all'utenza. L'inserimento di una tecnologia peculiare come quella dei container all'intero della cortina edilizia urbana milanese, è stato anch'esso un passaggio fondamentale. Il confronto con il contesto, con gli autori che sono intervenuti sulla città di Milano, l'analisi dei tratti tipici delle architetture limitrofe, lo studio delle tonalità che colorano la città ha reso possibile il trasferimento degli stessi sul nostro edificio.

La libertà compositiva si è contemporaneamente rapportata con l'ulteriore vincolo dato dalla ripetitività di un elemento base quale è la cella abitativa. Tuttavia, l'esigenza di ottimizzare la prefabbricazione si è dovuta confrontare con la volontà di integrare concretamente l'edificio con l'ambiente circostante. La matericità delle superfici e i loro cromatismi, unitamente all'inserimento delle cornici e delle serre solari hanno reso la tecnologia adottata perfettamente compatibile con le esigenze architettoniche. E' stato così risolto un rilevante ostacolo che il ricorso alla prefabbricazione aveva sollevato.

Il concetto di ottimizzazione è stato applicato anche nella scelta delle stratigrafie che compongono l'involucro e le partizioni dell'edificio. L'implementazione delle soluzioni standard tipiche di un container, per giungere ad un pacchetto tecnologico adatto ad una residenza, è stata eseguita ricorrendo a materiali dalle prestazioni elevate ma al contempo leggeri e sostenibili.

Il passo successivo è stato quello di adattare le chiusure e le partizioni alla prefabbricazione del modulo. E' infatti dall'assemblaggio dei moduli in opera che si

costituisce una stratigrafia completa e che si risolvono i giunti fra i vari elementi. Lo studio dei nodi tecnologici ci ha permesso di capire come rendere possibile questa “composizione” e la stratificazione dei materiali stessi si è dovuta confrontare con questo bisogno pratico. L'esecuzione delle opere di finitura in sito ha in questo senso alleviato il problema, consentendo di eseguire il giunto senza compromettere la facciata e, al contempo, di adottare un rivestimento delle facciate, in continuità con gli edifici adiacenti.

I pacchetti tecnologici sono stati ulteriormente migliorati, valutandone le prestazioni energetiche in termini di comfort termico e acustico. La destinazione d'uso residenziale necessita di requisiti prestazionali che un container non migliorato non è in grado di garantire. Tale perfezionamento, per quanto riguarda l'aspetto energetico, è voluto andare oltre i limiti imposti dalla normativa vigente, e indagare le condizioni di comfort all'interno degli alloggi. L'importanza di progettare un edificio a basso consumo risiede nella possibilità che essa stessa offre all'utenza, ossia quella di godere di ambienti gradevoli, salubri e funzionali.

La simulazione dinamica ci ha consentito di dimostrare e verificare l'efficacia delle scelte effettuate. Oltre all'analisi dell'involucro, si sono volute indagare anche le soluzioni architettoniche progettate, in quanto sviluppate anche sulla base di esigenze tecnologiche ed energetiche. Cornici, ballatoi-serre e frangisole sono il risultato dell'unione di necessità completamente differenti. La richiesta di privacy da parte dell'utenza, il bisogno di protezione dal surriscaldamento e quello di captazione della radiazione solare nonché la volontà di caratterizzare i volumi e le superfici del progetto, sono racchiuse in questi elementi.

Una successiva verifica ha riguardato il comfort visivo, analizzato mediante le simulazioni illuminotecniche applicate sia sull'intero edificio sia sul singolo alloggio. Anche in questo caso siamo state in grado di sfruttare gli elementi prefabbricati, le cui aperture e dimensioni rendono gli ambienti luminosi preservandoli

dall'abbagliamento. Fondamentale è stato l'inserimento di entrambi i sistemi di oscuramento, fissi e mobili.

Il ridotto consumo energetico dell'edificio è inoltre connesso al progetto impiantistico. Le condizioni climatiche interne sono garantite non solo dall'involucro, ma dalla ventilazione meccanica naturale la quale, combinata al pre-riscaldamento o pre-raffrescamento geotermico dell'aria, contribuisce notevolmente all'avvicinamento delle temperature al range di comfort.

Tuttavia, anche un edificio performante ha bisogno di impianti a supporto delle strategie architettoniche e tecnologiche. Questa necessità non collide tuttavia con la sostenibilità dell'edificio. L'impianto di generazione termica, viene alimentato da pannelli fotovoltaici integrati nel prospetto Sud. Il fabbisogno di acqua calda sanitaria è, a sua volta, coperto dall'impianto solare termico installato in copertura. Il vero punto critico è, ancora una volta, dipeso dall'utilizzo dei moduli prefabbricati. La progettazione di una rete impiantistica razionalizzata e la semplificazione delle connessioni fra i vari moduli, ha consentito di risolvere anche questa problematica. Si riscontra qui un altro aspetto che ha mutato un ostacolo in un'agevolazione di una componente progettuale.

S'intravedono a questo punto alcuni criteri fondamentali che hanno sostenuto tutti gli ambiti progettuali indagati:

- la razionalizzazione delle scelte eseguite;
- la semplicità e la fattibilità in opera delle soluzioni adottate;
- il continuo confronto fra i vari ambiti del progetto.

Questi aspetti hanno fortemente condizionato anche la progettazione strutturale dell'opera. L'utilizzo dei moduli prefabbricati è stato combinato con una struttura in calcestruzzo armato, la quale costituisce una base per i successivi livelli. Tuttavia, l'attenzione è stata posta maggiormente sull'implementazione di una

soluzione prefabbricata al fine di realizzare una maglia tridimensionale in acciaio autoportante. Lo sforzo di non usufruire di una struttura ausiliaria ci ha permesso di comprendere e affinare moduli industriali non usualmente utilizzati per delle residenze. È stato così possibile migliorare le prestazioni dei profili, mantenere la struttura leggera e risolvere le giunzioni fra le stesse.

L'estensione della struttura con cornici e serre prefabbricate ha ulteriormente arricchito gli studi e le verifiche eseguite. Attraverso il progetto strutturale siamo riuscite ad esaltare l'adozione della tecnologia modulare, in quanto è stato possibile massimizzare la capacità autoportante del container e ridurre fortemente i tempi di posa in opera, semplificandone e facilitandone le operazioni.

È evidente come ogni aspetto sia stato affrontato con un costante riferimento alle fasi operative. Dalla scelta di usufruire dei moduli sino al singolo sviluppo dei nodi costruttivi, si è reso necessario pensare a come sarebbe stato possibile realizzare quanto deciso. Così lo studio delle fasi operative è stato sviluppato "step by step", risolvendo le problematiche generali del trasporto dei moduli, per poi affrontare l'organizzazione del cantiere nei suoi aspetti specifici. Non ci siamo volute celare dietro l'utilizzo di elementi prefabbricati nello studio dei layout ed abbiamo dimostrato come si possa progettare un cantiere sicuro e ordinato anche in un contesto così vincolante come il lotto in questione. Il tutto usufruendo solo della superficie dello stesso. Per questo motivo sono state affrontate anche le fasi relative alle parti interrato e all'utilizzo del calcestruzzo armato.

Gli aspetti ergonomici sono stati un'ulteriore conferma delle potenzialità del sistema adottato in termini di durata, sicurezza e semplicità organizzativa del cantiere. A conferma di quanto detto, sono stati elaborati un confronto tempistico e dei costi, eseguito con riferimento ad uno stesso progetto realizzato con una tecnologia stratificata a secco. La sfida che abbiamo accolto si è mostrata positiva al di sopra delle nostre aspettative. L'utilizzo di una soluzione innovativa è risultato

conveniente anche da un punto di vista economico. Questo, in rapporto ad una tecnologia a secco, la quale è anch'essa già ottimizzata.

Ciò che si può concludere quindi, è che l'utilizzo dei moduli prefabbricati, che era parso inizialmente così arduo e ricco di problematiche, si è rivelato non solo efficace ma anche formativo. Abbiamo compreso come la conoscenza approfondita di una tecnologia e la costante visione complessiva del progetto siano fondamentali per la sua gestione e per il buon esito dello stesso. Riuscire ad inserire e integrare un elemento di origini industriali in un quartiere sensibile come Brera, il tutto in un'ottica di sostenibilità ed efficienza energetica è stato per noi un insegnamento, entusiasmante e stimolante.



Fig.347 MODULA, vista Est.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ARRIGONI L., *Pinacoteca di Brera, Guide Musei Touring Club Italiano*, Milano, 1998.

BASSI A., Antonio Citterio, *Industrial design*, Skira, 2004.

BIRAGHI M., *Storia dell'architettura contemporanea: 1750/1945*, Piccola biblioteca Einaudi, Torino, 2008.

BORIANI M., *La costruzione della Milano moderna: casa e servizi in un secolo di storia cittadina*, Clup, Milano, 1982.

BORIANI M., MORANDI C., ROSSARI A., *Milano contemporanea: itinerari di architettura e urbanistica*, Designers riuniti, Torino, 1986.

BOTTICINI C., ROVETTA G., *Città antica architettura contemporanea*, Maggioli editore, 2011.

BUTERA F. M., *Architettura e ambiente*, Etas libri, Milano, 1995.

CAPELLETTI A., Antonio Citterio, *Architettura e design*, Skira, 2006.

DE FINETTI G., *Milano: Costruzione di una città*, Hoepli, 2002.

GAVINELLI C., *Architettura contemporanea: dal 1943 agli anni '90*, Jaca Book, Milano, 1998.

GOTTFRIED A., *Ergotecnica edile: sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di caseratura, macchinari e automazione del cantiere*, Esculapio, Bologna, 1995.

GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna, 2011.

GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., *Ergotecnica edile*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna, 2011.

GOTTFRIED A., DI GIUDA G.M., *Progettazione e gestione della sicurezza nei cantieri edili*, Utet, Milano, 2011.

GOTTFRIED A., *Ergotecnica edile: applicazioni di metodi e strumenti*, Esculapio, Bologna, 1995.

GRAMIGNA G., MAZZA S., *Milano, un secolo di architettura milanese dal Cordusio alla Bicocca*, Milano, Hoepli, 2001.

GRAMIGNA G., MAZZA S., *Storia dell'architettura italiana: il primo novecento*, a cura di Giorgio Ciucci e Giorgio Muratore, Electra, Milano, 2004.

GRANDI M., PRACCHI A., *Guida all'architettura moderna*, Zanichelli, Bologna, 1980.

IMPERADORI M., BRASCA M., *Compasso volante Dieci anni ... insieme*, Polipress, Milano, 2009.

IMPERADORI M., *La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore, Milano, 2010.

IMPERADORI M., *La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore S.p.A., Milano, 2006.

IMPERADORI M., SENATORE A., *Schematic Design, tecniche ed esempi di comunicazione del progetto*, Il sole 24 Ore, , Milano, 2011.

IRACE F., *Gio Ponti, La casa all'italiana*, Electa, Milano, 1995.

IRACE F., *Giò Ponti, la casa all'italiana*, Electra, Milano, 1995.

KOTNIK J., *Container architecture*, Links Books, 2008.

LICITRA PONTI L., *Gio Ponti, l'opera*, Leonardo Editore, Milano, 1990.

LINGER J., *I cantieri*, edizioni C.E.L.I., Bologna, 1973.

MASERA G., *Residenze e risparmio energetico*, Il Sole 24 Ore S.p.A., Milano, 2004.

MIDDLETON R., WATKIN D., *Architettura dell'Ottocento*, Electa, Milano, 1988.

MONEO R., *Costruire nel costruito*, a cura di Michele Bonino, 2006.

MOTTA G., PIZZIGONI A., *La casa e la città: saggi di analisi urbana e studi applicati alla periferia*, CLUP Città Studi, Milano, 1991.

PIETRABISSA R., *Campus Point un prototipo di centro di ricerca aperto*, Polipress, Milano, 2008.

POLANO S., *Achille Castiglioni 1918-2002*, Electa, Milano, 2007.

POLITO S., *Costruire nei centri storici*, a cura di Adriana De Marco, Cuen editore, 2005.

SZOKOLAY S.V., *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Ulrico Hoepli, Milano, 2004.

TALIERCIO A., *Introduzione alla meccanica dei solidi*, Progetto Leonardo Esculapio, Bologna, 2006

TONIOLO G., DI PRISCO M., *Appunti di tecnica delle costruzioni: elementi strutturali in acciaio*, Zanichelli, Bologna, 2001.

TONIOLO G., DI PRISCO M., *Calcolo strutturale i telai*, Zanichelli, Bologna, 2001.

TONIOLO G., DI PRISCO M., *Cemento armato: calcolo agli stati limite*, Terza edizione, Vol.2A, Zanichelli, Bologna, 2001.

TONIOLO G., DI PRISCO M., *Cemento armato: calcolo agli stati limite*, Terza edizione, Vol.2B, Zanichelli, Bologna, 2001.

VITILLO P. FERRARI F., *Brera, Garibaldi città storica, moderna e contemporanea, itinerari di architettura milanese*, 2011.

RIFERIMENTI RIVISTE E PERIODICI

Arketipo: Housing, n.66, Gruppo24ore, Milano, Settembre 2012.

Arketipo: Milano, n.72, Gruppo24ore, Milano, Aprile 2013.

Arketipo: Prefabbricazione, n.71, Gruppo24ore, Milano, Marzo 2013.

Arketipo: Pre-fabbricazione, Supplemento 7 al n.44, Gruppo24ore, Milano, 2010.

Arketipo: Protezioni Solari, Supplemento 8 al n.46, Gruppo24ore, Milano, 2010.

Casabella: Tipi e tecniche nella espansione abitativa, a cura di Scacchetti L., XLIII, pp.37-44, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1979.

Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Ambiti, Brera-Garibaldi città storica, moderna e contemporanea, a cura di Piergiorgio Vitillo e Federico Ferrari, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano, s.d..

Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Figure, Luigi Caccia Dominioni, a cura di Alberto Gavazzi e Marco Martegani, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano s.d..

Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della

città, Figure, Luigi Caccia Dominioni, a cura di Alberto Gavazzi e Marco Martegani, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano s.d..

Itinerari di architettura milanese: l'architettura moderna come descrizione della città, Temi, La casa popolare, a cura di Marco Lucchini, Fondazione Dell'ordine Degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Milano, s.d..

L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1892.

L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1893.

L'edilizia moderna: periodico mensile di architettura pratica e costruzione, Milano, 1895.

Milano ricostruisce 1945-1954, a cura di Giorgio Rumi, Adele Carla Buratti, Alberto Cova, Cariplo, Milano 1990.

Milano: percorsi del progetto, a cura di Paolo Caputo, A. Guerini, Milano, 1993.

Mostra premio Compasso Volante Ettore Zambelli: Smart architecture Milano city center, 14th edizione, Politecnico di Milano, Milano Urban center, 2012.

Progettare, Architettura, città e territorio, a cura di Francesca Malerba, Rosanna Tavano, n.42, Tecniche nuove, 2008.

RIFERIMENTI LEZIONI

“Storia dell’Architettura II”, a cura di Ornella Selvafolta, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2009/10.

“Sistemi edilizi ad alta efficienza energetica”, a cura di Graziano Salvalai, Facoltà di Ingegneria-Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2011/12.

RIFERIMENTI CARTOGRAFICI E STATISTICI

Archivio di Stato, Milano (ottenuto online: <http://esx-archiviomi.cilea.it/Divenire/home.htm>).

Servizio Bibliotecario TEDOC, Biblioteca Centrale di Architettura, Milano.

Ufficio centrale di meteorologia ed ecologia agraria (fino al 1930); Elaborazioni Istat su dati del Servizio idrografico nazionale (dal 1931).

RIFERIMENTI TESI

DE LEO E., GALIMBERTI C.G., ZAMPONI A., *Econtainer progetto per una green tower nell'area di Shanghai Expo 2010*, rel. Imperadori Marco, Politecnico di Milano sede di Lecco, A.A. 2010/2011.

GABOS M., IORIO E., *Container Housign*, rel. Imperadori Marco, Politecnico di Milano sede di Lecco, A.A. 2010/2011.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Decreto Ministeriale 5 luglio 1975: Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione.

Decreto Ministeriale 14 giugno 1989 n. 236: Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visibilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.

Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285: “Nuovo codice della strada”.

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192: Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia.

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311: “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell’edilizia”.

Decreto Ministeriale 22 maggio 2007 n. 43: Standard minimi dimensionali e qualitativi e linee guida relative ai parametri tecnici ed economici concernenti la realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari di cui alla legge 14 novembre 2000 n. 338.

Decreto Ministeriale 14/01/2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Decreto Legislativo 9 aprile 2008, N. 81: Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

Regolamento Locale d’Igiene: Regolamento approvato dal Consiglio Comunale nelle seduta del 9 maggio 1994 con deliberazione n. 172/84- Atti N. 133296.400 PG. 94, comprensivo di successive modificazioni ed integrazioni.

Regolamento Edilizio del Comune della città di Milano: Regolamento approvato con deliberazione del consiglio comunale n. 81 del 20 luglio 1999.

UNI 8290-1:1981: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.

UNI 8290-2:1983: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti.

UNI 8290-3:1987: Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti.

UNI ENV 1992-1-1:1993: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

Norma UNI 10349:1994: riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

UNI ENV 1993-1-1:1994: Eurocodice 3- Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI ENV 1993-1-3:2000: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-3: Regole generali- Regole supplementari per l’impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo.

UNI EN ISO 10077/2007: Parte 1 e 2: Prestazione termica di finestre, porte chiuse oscuranti.

UNI EN 15251/2008: Criteri per la progettazione dell’ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell’aria interna, all’ambiente termico, all’illuminazione e all’acustica

UNI/TS 11300-1:2008: Determinazione del fabbisogno di energia tecnica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI/TS 11300-2:2008: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di HCS.

UNI/TS 11300-3:2010: Prestazione energetica degli edifici- Parte 3- Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

UNI 10339: 2010: Impianti aeraulici ai fini del benessere.

UNI/TS 11300-4:2012: Prestazione energetica degli edifici- Parte 4 – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale per la produzione di acqua calda sanitaria.

RIFERIMENTI WEB

www.abitare.it

www.accademiadibrera.milano.it

www.achillecastiglioni.it

www.aermec.com

www.alho.com

www.archdaily.com

www.archilovers.com

www.archinfo.it

www.archiportale.com

www.architetturadi pietra.it

www.architetturaecosostenibile.it

www.arturomontanelli.com

www.assets.inhabitat.com

www.astorideponti.it

www.atlantestoricolombardia.it

www.breradesigndistrict.it

www.campuspoint.polimi.it

www.cantieri-sicurezza.it

www.cargotecture.com

www.centralinteriordesign.com

www.co-housing.it

www.comune.milano.it

www.covepark.org

www.cptmilano.it

www.cti2000.it

www.CTProma.it

www.divenire.com

www.doka.it

www.edilportale.com

www.edilsider.com

www.efficienzaenergetica.enea.it

www.enea.it

www.energy.gov

www.eurolex.europa.eu

www.europaconcorsi.com

www.expo2015.org

www.fabprefab.com

www.fondazione.ordinearchitetti.mi.it

www.fondazionispecialimilano.it

www.gaeaulenti.it

www.ilmeteo.it

www.istat.it

www.ita.arpa.it

www.italia.cat.com

www.keetwonen.nl

www.kermi.it

www.liebherr.it

www.lombardiabeniculturali.it

www.marcegaglia.it/building

www.marraffasrl.it

www.mi.camcom.it

www.omcprofilati.it

www.osservatoriokyoto.it

Www.potain.it

www.prestinzenza.it

www.proiter.it

www.regionelombardia.it

www.rossatogroup.com

www.sitalklima.it

www.skyscrapercity.com

www.stoitalia.it

www.storiadimilano.it

www.tietgenkollegiet.dk

www.trasporti.regione.lombardia.it

www.trnsys.com

www.tutitempo.net

www.uni.com

www.urbanfile.it

www.varem.com

www.zucchiarchitetti.com

INDICE DELLE IMMAGINI

CAP. 01_PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012

Fig.01	Il logo del Concorso Premio Compaso Volante.....	4
Fig.02	Una delle visite a Milano accopagnati dal Prof. Imperadori.....	6
Fig.03	Visita a The Cube l'Arch. Pagliani, il progettista.....	6
Fig.04	Visita cantiere degli edifici a Porta Nuova a Milano.....	6
Fig.05	Viaggio ad Hong Kong.....	6
Fig.06	Viaggio a Macao - Workshop di presentazione dei progetti.....	6
Fig.07	HUB - Textile Workshop gestito da Barbara Zucchi Frua, Milano.....	6
Fig.08	Paperboard Building Workshop.....	6
Fig.09	Esposizione finale dei progetti dall'Urban Center di Milano.....	6
Fig.10	Schema del massimo volume costruibili e non costruibile.....	7
Fig.11	Dimensioni dell'area di progetto.....	8
Fig.12	Tavola N. R01/2D, Piano delle Regole PGT di Milano.....	9
Fig.13	Tavola N. R04/1, Piano delle Regole PGT di Milano.....	9
Fig.14	Metodo grafico per il calcolo della distanza tra edifici.....	11
Fig.15	Schema delle dimensioni massime di progetto.....	12
Fig.16	Tavola R.06/D Piano delle Regole PGT, Milano.....	13

Fig.17	FLORA, vista Nord.....	14
Fig.18	FLORA, Layout distributivo e destinazioni d'uso.....	14
Fig.19	FLORA, Vista della corte.....	15
Fig.20	FORA, Prospetto Nord.....	16
Fig.21	FORA, Prospetto Sud.....	16
Fig.22	FLORA, Tavola finale di concorso.....	17

CAP. 02_ANALISI PRELIMINARI

Fig.23	Individuazione ambiti territoriali omogenei.....	22
Fig.24	Vista aerea dell'area di progetto.....	22
Fig.25	Rilievo metrico e fotografico dell'are di progetto e dintorni.....	23
Fig.26	Milano tra il III sec.a.C. al XIII sec.d.C.....	25
Fig.27	Mappa del 1573 di Antonio Lafrery.....	25
Fig.28	Mappa del 1735 di Marcantonio dal Re.....	25
Fig.29	Piano Regolatore di Milano 1801, Pinchetti.....	26
Fig.32	Piano Beruto 1889.....	26
Fig.30	Piano Regolatore di Milano 1807, Pinchetti.....	26
Fig.33	Piano Masera 1912.....	26

Fig.31	Interventi tra il 1860 e il 1885.....	26
Fig.34	Piano Albertini 1934.....	26
Fig.35	Piano Pavia-Masera: quadrante di zona Brera, 1912.....	27
Fig.36	Piano Albertini: quadrante di zona Brera, 1934.....	27
Fig.37	Catasto Teresiano, copia 1751.....	28
Fig.38	Catasto Lombardo-Veneto, 1855.....	28
Fig.39	Nuovo Catasto Terreni, 1894-1902.....	28
Fig.40	Catasto Teresiano 1721.....	30
Fig.41	Catasto Lombardo-Veneto 1855.....	30
Fig.42	Catasto Cessato 1898.....	30
Fig.43	Individuazione servizi commerciali.....	31
Fig.44	Individuazione istituti di istruzione.....	31
Fig.45	Vicinanza alle università milanesi.....	32
Fig.46	Individuazione aree destinate a parcheggio.....	33
Fig.47	Individuazione aree verdi.....	33
Fig.48	Viabilità a macroscala.....	34
Fig.49	Trasporto pubblico e area di progetto.....	34
Fig.50	Attività presenti nel contesto in rapporto alle distanze.....	35
Fig.51	Lampada ad arco, Achille Casiglioni 1962.....	37
Fig.52	Il cortile della Pinacoteca di Brera.....	38

Fig.53	Immagini di Brera design District e degli eventi del Fuorisalone.....	39
Fig.54	Planimetria di Piazza Duomo.....	40
Fig.55	La Galleria di Mengoni.....	40
Fig.56	Planimetria di Parco Sempione.....	41
Fig.57	Dettaglio liberty di Casa Galimberti,Milano.....	41
Fig.58	Grattacielo Pirelli, Gio Ponti, 1956.....	42
Fig.59	Torre Velasca, BBPR, 1956.....	42
	Edificio residenziale in Via Dante 14, Milano.....	43
Fig.61	Tipologie di trattamento del basamento degli edifici.....	46
Fig.62	La corte interna generata da uno o più edifici.....	47
Fig.63	Domus in Via del Caravaggio.....	49
Fig.64	Casa Marmont e Lepetit.....	49
Fig.65	Domus in Via dei Togni.....	49
Fig.66	Edel Headquarters, Amburgo.....	51
Fig.67	Residenze in Via Salaino, Milano.....	51
Fig.68	Bulgari Hotels & Resorts, Milano.....	51
Fig.69	Palazzo Ferrante Aporti, Milano.....	51
Fig.70	Edifici in linea Nuovo Portello, Milano.....	52
Fig.71	Dettagli degli edifici in linea Nuovo Portello, Milano.....	52
Fig.72	Edifici in linea Nuovo Portello: affaccio verso il parco, Milano.....	52

Fig.73	Edifici a torre Nuovo Portello, Milano.....	52	Fig.92	Vista esterna del complesso che costituisce l’hotel.	92
Fig.74	La corte verde di corso Como: vista dalla corte, Milano.	52	Fig.93	Prefabbricazione dei moduli all’interno di un capannone industriale..	92
Fig.75	Analisi dei cromatismi.	54	Fig.94	Vista notturna del complesso residenziale.	93
Fig.76	Collegio Borromeo, Pavia 1561.....	56	Fig.95	Vista frontale degli appartamenti.	93
Fig.77	Collegio Borromeo, Pavia 1561, la corte.....	56	Fig.96	Platoon Kunsthalle, galleria d’arte contemporanea a Seoul.....	94
Fig.78	Collegio Borromeo, Pavia 1561, piante.....	56	Fig.97	Fotografia del Kunstlab Orbino di Noord Holland.	95
Fig.79	Casa dello studente, Università Cattolica, Milano 1934, cella tipo.	56	Fig.98	Fotografia del Freitag Store, Zurigo.	95
Fig.80	Collegio del colle, Cosenza, 1962, le celle	56	Fig.99	Esposizione della “Future Shack”, Sean Godsell Architects.....	96
Fig.81	Tipologie di residenza studentesca descritte dalla normativa.	58	Fig.100	Interni di una “Future Shack”.	96
Fig.82	Collegio universitario Città Studi, Milano.....	59	Fig.101	Fotografia notturna del Nomadic Museum.....	97
Fig.83	Residenza per studenti a Ljubljana, Slovenia.....	59	Fig.102	Patio del complesso ospedaliero del Sudan.	97
Fig.84	Tietgenkollegiet, Copenhagen, Danimarca.....	60	Fig.103	Dettaglio del prospetto della student house di Amsterdam.	98
Fig.85	Cite a’ Docks, Le Havre, Francia.	60	Fig.104	Facciata e corte interna del Keetwonen di Amsterdam.	98
Fig.86	Aspetti principali delle residenze studentesche.	61	Fig.105	Fotografie del complesso residenziale di Cove Park, Scozia.....	99
CAP. 03_ NUOVA SFIDA TECNOLOGICA			Fig.106	Schemi del sistema tecnologico di Campus Point, Lecco.	99
Fig.87	Esempi di architetture realizzate mediante moduli prefabbricati.....	87	Fig.107	Fotografia della facciata di Campus Point, Lecco.....	100
Fig.88	Esempi di prefabbricazione nella storia.....	88	Fig.108	Fotografia di dettaglio dei moduli sporgenti di Campus Point, Lecco.	100
Fig.89	Movimentazione di un modulo, progetto MOHO Apartaments.	89	Fig.109	Caratteristiche container “Grand Desert”.	101
Fig.90	My Micro NY, render fotorealistico.	90	Fig.110	Confronto fra schemi di alloggi in container e in edifici tradizionali... ..	102
Fig.91	Fotografia del fronte strada, Moho Apartaments.	91	Fig.111	Hall interna della 12 Container House.....	103

Fig.112	Esposizione del Green Frame House, Verona.....	103	Fig.131	Varie attività del livello-1.....	123
Fig.113	Nucleo zona notte all’interno di “Cargotecture”.	104	Fig.132	Pianta Livello-1.....	124
Fig.114	Fotografia di Cargotecture inserita in un bosco.	104	Fig.133	La palestra come attività che produce energia elettrica per l’edificio.	125
Fig.115	Sistema costruttivo tipo “Cocoon” e posa di una cellula.	105	Fig.134	Ottimizzazione delle risorse e degli spazi, schema concettuale.....	125
Fig.116	Riferimenti concettuali.	106	Fig.135	Pianta Livello-2.....	126
CAP. 04_ PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA			Fig.136	Differente sviluppo di due possibili collocazioni del distributivo.	127
Fig.117	La corte interna aperta al quartiere.....	112	Fig.137	Ventilazione naturale trasversale negli spazi abitativi.	127
Fig.118	Connessioni tra il lotto e gli elementi dell’area limitrofa.	113	Fig.138	Tipologie di appartamenti:.....	128
Fig.119	Planivolumetrico	114	Fig.139	Suddivisione degli spazi tramite l’arredo.	129
Fig.120	Distinzione pubblico-privato all’interno dell’edificio	115	Fig.140	Vista interna ad una stanza tipo.....	130
Fig.121	Layout generale e destinazioni d’uso dell’edificio	116	Fig.141	Adattabilità dello spazio per utenti con disabilità.	130
Fig.122	La Banca del Tempo come luogo di scambio.....	117	Fig.142	Pianta Livello +1.....	131
Fig.123	Attività varie presenti nella Banca del Tempo.....	118	Fig.143	Pianta Livello +2.....	132
Fig.124	Attività varie presenti nella Banca del Tempo.....	118	Fig.144	Pianta Livello +3.....	133
Fig.125	L’esposizione della Banca del Tempo.	119	Fig.145	Pianta Livello +4.....	134
Fig.126	La sala studio del Tietgen Kollegiet a Copenhagen.	120	Fig.146	Vista della Social Room.	135
Fig.127	Bicicletta e car sharing come mezzi di trasporto sostenibili.....	120	Fig.147	Moduli base.....	136
Fig.128	Il deposito biciclette del Tigen Kollegiet a Copenhagen.....	120	Fig.148	Modulo A.....	137
Fig.129	Pianta Livello 0.....	121	Fig.149	Modulo B.....	137
Fig.130	Alcune attività che caratterizzano il Media Hub.....	122	Fig.150	Variazioni Modulo B.....	138

Fig.151 Modulo C e variazioni.....	139	Fig.170 Continuità di isolamento ristabilita dopo la posa in opera.....	156
Fig.152 Variazioni Modulo C	140	Fig.171 Confronto del peso di diverse tecnologie costruttive.	157
Fig.153 Distribuzione dei moduli sui vari livelli.	141	Fig.172 Confronto tra peso, conducibilità ed inerzia termica tra materiali.	158
Fig.154 Corrispondenze dimensionali tra edificio e contesto.	142	Fig.173 Alcuni materiali riciclabili utilizzati nel progetto.....	159
Fig.155 Corrispondenze dimensionali tra edificio e contesto.	142	Fig.174 Trasmittanza e inerzia termica	161
Fig.156 Corrispondenze tra aperture e moduli.	143	Fig.175 Potere fonoisolante di facciata.....	161
Fig.157 A. MANGIAROTTI Condominio in via Quadronno, Milano (1959-60) .	144	Fig.176 Potere fonoisolante apparente	162
Fig.158 Riferimento alle cromie campionate nell’ “Analisi dei cromatismi”	145	Fig.177 Il rumore impattivo.	162
Fig.159 GIO’ PONTI Domus Flavia in via Cicognara, Milano (1933-34).....	146	Fig.178 Esempio di pacchetto tecnologico.....	163
Fig.160 Vista Nord-Est.....	147	Fig.179 Esempio di pacchetto tecnologico.....	164
Fig.161 Prospetto Est	148	Fig.180 Continuità dell’isolamento termico tra moduli	165
Fig.163 Studio accostamento dei cromatismi	148	Fig.181 Nodo orizzontale dell’unione tra moduli.	166
Fig.162 GIO’ PONTI Domus in via De Togni: la Giulia, la Carola e la Fausta.....	149	Fig.182 Continuità dell’isolamento acustico.....	167
Fig.164 Complesso residenziale a Milano: ballatoio a sbalzo su corte	149	Fig.183 Continuità dello strato impermeabilizzante.....	167
Fig.165 Estratto prospetto Ovest:serra con funzione di ballatoio.....	149	Fig.184 Continuità dell’involucro edilizio.....	167
Fig.166 Prospetto Sud	150	Fig.185 Ripristino della continuità ed esploso tecnologico [Rif. Tav.40].	168
CAP. 05_PROGETTAZIONE TECNOLOGICA		CAP. 06_PROGETTAZIONE ENERGETICA	
Fig.167 Stratigrafie risultato dell’implementazione di pacchetti tecnologici ..	154	Fig.186 Schematic Design, situazione estiva.	172
Fig.168 Opzione con partizione su un unico elemento	155	Fig.187 Schematic Design, situazione invernale.....	173
Fig.169 Opzione con partizione suddivisa tra elementi.	155	Fig.188 Individuazione della zona termica all’interno del modello	175

Fig.189 Appartamenti analizzati all’interno del 3 livello dell’edificio.....	175	Fig.209 FLD: cornice piena	208
Fig.190 Mappa concettuale delle analisi riportate nel seguente capitolo.....	177	Fig.210 Illuminamento: cornice forata.....	209
Fig.191 Schema esplicativo dei periodi di riferimento per le analisi eseguite.	177	Fig.211 Illuminamento: cornice piena.	209
Fig.192 Schema degli elementi di oscuramento ed esempi di utilizzo.	185	Fig.212 Schema generale del funzionamento impiantistico.	211
Fig.193 Schema della serra e delle possibili disposizioni dei frangisole.	189	Fig.213 Rete di distribuzione impiantistica.	212
Fig.194 Confronto fra lampadine tradizionali e ad alta efficienza energetica.	193	Fig.214 Serbatoio ACS tipo “Varem TVAR”.	219
Fig.195 Schema concettuale del pre-trattamento dell’aria.....	193	Fig.215 Localizzazione Aula Studio al Livello 0.	220
Fig.196 Schema conclusivo delle analisi, alloggio più sfavorito (4).....	196	Fig.216 Pannelli radianti a pavimento per riscaldamento e raffrescamento... ..	224
Fig.197 Ombreggiamento prospetto Sud ogni 90 minuti.....	198	Fig.217 Pretattamento geotemico dell’aria.	232
Fig.198 Ombreggiamento prospetto Est ogni 90 minuti.....	199	Fig.218 PV.0.6: partizione con intercapedine impiantistica.	234
Fig.199 Ombreggiamento prospetto Est ogni 90 minuti.....	200	Fig.219 Vano per la colonna impiantistica in un appartamento.	234
Fig.200 Finestra considerata per la verifica della sporgenza dei frangisole.....	201	Fig.220 Giunto a bicchiere e connessione verticale degli impianti.....	241
Fig.201 Finestra con frangisole verticale nel prospetto Est.	202	Fig.221 Canali d’areazione tra container sovrapposti.....	241
Fig.202 L’appartamento più sfavorito.	204	Fig.222 Certificazione energetica residenza: Energia Primaria e Termica.	242
Fig.203 FLD: cornice forata.	205	Fig.223 Certificazione energetica residenza: Energia Primaria e Termica.	242
Fig.204 FLD: cornice piena.....	205		
Fig.205 Illuminamento: cornice forata.	206	CAP. 07_PROGETTAZIONE STRUTTURALE	
Fig.206 Illuminamento: cornice piena.	206	Fig.224 Stralcio Tavola G01_Carta litologica PGT.	246
Fig.207 L’appartamento più favorito.....	207	Fig.225 Stralcio Tavola G02_Carta Idrogeologica PGT.	247
Fig.208 FLD: cornice forata.	208	Fig.226 Suddivisione dell’edificio secondo la tipologia strutturale.....	249

Fig.227 Spaccato della struttura dei moduli prefabbricati.	250	Fig.247 Schema statico a mensola.	280	Fig.267 Tab.4.2.I-Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse. .	300	Fig.287 Tabella di predimensionamento della lamiera grecata “ Solac 75 ” ...	335
Fig.228 Spaccato dei componenti degli elementi a sbalzo.....	251	Fig.248 Schema statico considerato.	281	Fig.268 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 51].	304	Fig.288 Tab.C.4.1.IV-Copriferri minimi in mm.	336
Fig.229 Spaccato della connessione tra elemento a sbalzo e struttura.....	252	Fig.249 Freccie dovute ai carichi.....	281	Fig.269 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 51].	310	Fig.289 Schema statico per il coefficiente di iperstaticità della trave.	337
Fig.230 Collocazione degli elementi controventanti.	253	Fig.250 Area di influenza del pilastro della serra.....	282	Fig.270 Convenzione per il calcolo del pilastro di bordo.....	315	Fig.290 Schema statico per il coefficiente di iperstaticità del solaio.....	337
Fig.231 3D strutturale.	254	Fig.251 Tabella 4.2.II-Massimi rapporti larghezza spessore.	283	Fig.271 Area di influenza considerata nel calcolo.....	315	Fig.291 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 48].	337
Fig.232 Pianta strutturale Livello -2.	255	Fig.252 Tabella 4.2.VI-Curve di instabilità 283		Fig.272 Sezione del pilastro con dimensioni.....	316	Fig.292 Prospetto 6.1.-Categoria per destinazione d’uso.	339
Fig.233 Pianta strutturale Livello 0.	256	Fig.253 Schema statico considerato.	284	Fig.273 Schema statico considerato per il calcolo del pilastro di bordo.	318	Fig.293 Prospetto 9.3.-Coefficienti Ψ per gli edifici.....	339
Fig.234 Pianta strutturale Livello +2.	257	Fig.254 Azioni interne al pilastro della serra.	286	Fig.274 Azioni interne pilastro di bordo SLU (lungo l’asse d’inerzia in Y).	320	Fig.294 Estratto dal software: individuazione della pericolosità del sito.....	343
Fig.235 Sezione strutturle.	258	Fig.256 Schema statico incastro-incastro.	287	Fig.275 Azioni interne pilastro di bordo SLU (lungo l’asse d’inerzia in Z).	321	Fig.295 Estratto dal software: a_g , F_0 e T_c per i periodi di ritorno T_R	343
Fig.236 Tabella 3.1.11-Valori dei carichi di esercizio.	265	Fig.255 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 51].	287	Fig.276 Azioni interne pilastro di bordo SLE (lungo l’asse d’inerzia in Y).	322	Fig.296 Estratto dal software: spettri di risposta per i periodi di ritorno T_R	344
Fig.237 Assi di riferimento per il calcolo dell’azione del vento.	266	Fig.257 Componenti strutturali e connessioni degli elementi della serra.	288	Fig.277 Azioni interne pilastro di bordo SLE (lungo l’asse d’inerzia in Z).	323	Fig.297 Estratto dal software: Fase 2-scelta della strategia di progettazione..	346
Fig.238 Tabella 3.3.I-Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a	267	Fig.258 Spaccato assonometrico del giunto bullonato.	289	Fig.278 Prospetto 5.5.2, Coefficienti di riduzione, EC3.	327	Fig.298 Estratto dal software: parametri per i periodi di ritorno T_R	346
Fig.239 Tab. 3.3.III-Classi di rugosità del terreno.	268	Fig.259 Tab.4.2.XII-Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.....	290	Fig.279 Dettaglio fissaggio verticale tra moduli in acciaio.	331	Fig.299 Estratto dal software: spettri di risposta elastici per i diversi SL.	347
Fig.240 Variazione del coefficiente di esposizione in base alle altezze.....	268	Fig.260 Scomposizione del momento sulla sezione.....	290	Fig.280 Schema di funzionamento del dispositivo di ancoraggio verticale.	332	Fig.300 Spettro di risposta elastico della componente orizzontale.	347
Fig.241 Figura 3.3.2-Valuri assunti da c_{pe} al variare di α	269	Fig.261 Distanze considerate nei calcoli.	291	Fig.281 Fissaggio dispositivi di ancoraggio.	332	Fig.301 Estratto dal software: determinazione dell’azione di progetto SLD. ...	351
Fig.242 Tab. C.3.3.I-Valori del coefficiente di attrito.	271	Fig.263 Schema statico incastro-incastro.	293	Fig.282 Fissaggio verticale tra modulo in acciaio e struttura in c.a..	332	Fig.302 Estratto dal software: Determinazione dell’azione di progetto SLV.....	351
Fig.243 Parametri per le combinazioni di carico.	274	Fig.262 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 51].	293	Fig.283 Dettaglio fissaggio orizzontale tra moduli in acciaio.	333	Fig.303 Estratto dal software: spettri di risposta elastici per lo SLD.	352
Fig.244 Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio....	278	Fig.265 Schema statico incastro-incastro.	294	Fig.284 Schema di funzionamento del dispositivo di ancoraggio orizzontale.	333	Fig.304 Estratto dal software: parametri e punti dello spettro per SLD.	352
Fig.245 Tab.4.2.X-Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato.....	279	Fig.264 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 51].	294	Fig.285 Connessione fra tre moduli prefabbricati.	333	Fig.305 Estratto dal software: spettri di risposta elastici per lo SLV.	353
Fig.246 Profili considerati nel calcolo [Rif. Tav 50].	279	Fig.266 Distribuzione delle tensioni tangenziali per della torsione e taglio. ...	299	Fig.286 Dettaglio fissaggio verticale e orizzontale tra più moduli in acciaio. .	334	Fig.306 Estratto dal software: parametri e punti dello spettro per SLV.	353

Fig.307 Azione orizzontale del sisma per ogni livello.	359
Fig.308 Sistema di riferimento utilizzato per il calcolo del baricentro.	360
Fig.309 Sistema di riferimento per il calcolo del baricentro delle rigidezze. ...	362

CAP. 08_PROGETTAZIONE ERGOTECNICA

Fig.310 Rapporto fra l'area dei lavori e il sito di progetto.	371
Fig.311 Fasi qualitative delle operazioni di consolidamento dei fronti scavo. .	372
Fig.312 Vincoli aerei presenti sul sito.	373
Fig.313 Schema delle caratteristiche del trasporto eccezionale.	375
Fig.314 Percorso più veloce fra sito di partenza e area di progetto.	376
Fig.315 Utilizzo delle uscite dalla strada statale per evitare i ponti.	377
Fig.316 Schema delle caratteristiche del trasporto eccezionale.	378
Fig.317 Schema della tipologia di delimitazioni dell'area di cantiere.	379
Fig.318 Variazioni del layout di cantiere durante le lavorazioni.	380
Fig.319 Schema degli accessi e della viabilità interna al cantiere.	381
Fig.320 Organizzazione del cantiere durante il layout A.	384
Fig.321 Organizzazione del cantiere durante il layout B.	385
Fig.322 Planimetria e prospetto della gru in relazione con il contesto.	387
Fig.323 Infomrazioni tecniche relative alla gru e alla piattaforma aerea.	388
Fig.324 Palificatrice per l'infissione dei micro pali nel terreno.	389
Fig.325 Caratteristiche dimensionali dell'escavatore (modello piccolo).	390

Fig.326 Sezione esplicativa delle caratteristiche dell'escavatore.	390
Fig.327 Caratteristiche dimensionali dell'autocarro.	391
Fig.328 Caratteristiche dell'auto- betonpompa, e del braccio della stessa.	391
Fig.329 Combinazione di nastri trasportatori e modulo singolo.	392
Fig.330 Scavo e movimento terra, soluzione layout A.	394
Fig.331 Installazione della gru di cantiere.	394
Fig.332 Casseratura e getto livelli interrati per i differenti layout.	394
Fig.333 Schema sequenza di posa degli elementi prefabbricati.	395
Fig.334 Posa in opera dei moduli: analisi del percorso di movimentazione ...	396
Fig.335 Posa in opera dei moduli: analisi del percorso di movimentazione	397
Fig.336 Operazioni di finitura superficiale esterna.	397
Fig.337 Posa in opera di serre e cornici prefabbricate.	398
Fig.338 Operazioni di completamento della copertura.	398
Fig.339 Progetto con la tecnologia prefabbricata o stratificata a secco.	399
Fig.340 Applicazione di fattori correttivi ai prezzi definiti dai prezzari.	400
Fig.341 Estratto del computo metrico estimativo.	401
Fig.342 Applicazione di fattori correttivi ai prezzi definiti dai prezzari.	402
Fig.343 Estratto del tabellone delle durate.	404
Fig.344 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione prefabbricata.	406
Fig.345 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione stratificata a secco.	407

Fig.346 Estratto del diagramma di Gantt _ soluzione stratificata a secco.	408
--	-----

Fig.346 Confronto della durata del cantiere (tempistiche in giorni).	409
---	-----

CAP. 09_CONCLUSIONI

Fig.347 MODULA, vista Est.	416
---------------------------------	-----

INDICE DEI GRAFICI

CAP. 02_ANALISI PRELIMINARI

Graf.01 Irradiazione media mensile nel corso dell'anno.	71
Graf.02 Irradiazione su superfici verticali nel corso dell'anno.....	72
Graf.03 Irradiazione su superfici verticali mese per mese.	73
Graf.04 Irradianza solare massima estiva su superfici verticali.....	75
Graf.05 Angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva.....	77
Graf.06 Angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva.....	77
Graf.07 Angolo di altezza solare ed angolo azimutale massimi estivi.	77
Graf.08 Precipitazioni medie mensili anno 2010.....	78
Graf.09 Direzioni del vento prevalenti.	79
Graf.10 Umidità relativa media mensile.	80
Graf.11 Grafico Olgyay.....	81

CAP. 05_PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

Graf.12 Percentuale di isolanti naturali o chimici utilizzati nell'edificio.	159
---	-----

CAP. 06_PROGETTAZIONE ENERGETICA

Graf.13 Confronto quattro alloggi durante il giorno critico invernale.	178
---	-----

Graf.14 Confronto quattro alloggi durante il giorno critico estivo.	178
Graf.15 Analisi annuale delle temperature.....	179
Graf.16 Analisi del giorno critico invernale (ambiente esterno).	179
Graf.17 Analisi del giorno critico invernale (ambiente interno).	180
Graf.18 Temperature giorno critico estivo (ambiente esterno).	180
Graf.19 Giorno critico interno, stagione estiva.....	181
Graf.20 Andamento annuale delle temperature.	181
Graf.21 Analisi invernale: giorno critico per l'ambiente esterno.....	182
Graf.22 Analisi invernale: giorno critico per l'ambiente interno.	182
Graf.23 Temperature giorno critico estivo (esterno).	182
Graf.24 Andamento delle temperature per il giorno critico estivo interno.	183
Graf.25 Giorno critico per l'ambiente interno, analisi delle temperature.....	184
Graf.26 Giorno critico per l'ambiente interno, analisi delle temperature.....	184
Graf.27 Confronto percentuali di comfort: alloggi 1 e 4.	184
Graf.28 Andamento annuale delle temperature.	186
Graf.29 Giorno critico per la stagione invernale.....	186
Graf.30 Giorno critico invernale per l'ambiente interno.	186

Graf.31 Temperature giorno critico invernale.	187
Graf.32 Confronto percentuali di comfort: alloggio con o senza serra attiva. .	187
Graf.33 Analisi annuale delle temperature.....	188
Graf.34 Ambiente esterno critico, analisi giornaliera delle temperature.	188
Graf.35 Ambiente interno critico, andamento delle temperature.....	188
Graf.36 Confronto percentuali di comfort.	189
Graf.37 Analisi giorno critico estivo.	190
Graf.38 Confronto percentuali di comfort: alloggio con o senza ventilazione.	190
Graf.39 Analisi delle temperature nel il giorno critico estivo, confronto.....	191
Graf.40 Confronto percentuali di comfort per i differenti modelli analizzati... ..	191
Graf.41 Confronto modelli differenti durante il giorno critico invernale.	194
Graf.42 Analisi e confronto temperature durante il giorno critico estivo.	194
Graf.43 Andamento delle temperature, giorno critico invernale.....	195
Graf.44 Andamento delle temperature, giorno critico estivo.....	195
Graf.45 Diagramma del percorso solare.	201
Graf.46 Grafico della percentuale di cielo scoperto media giornaliera.....	203
Graf.47 Percentuale di superficie coperta dai vari tipi di pannelli.	214
Graf.48 Densità del flusso termico.....	225
Graf.49 Diagramma psicrometrico.....	226
Graf.50 Calcolo della differenza di entalpia per l'Aula Studio.....	230

Graf.51 Calcolo della temperatura T_3	231
Graf.52 Limite di temperatura per la produzione dell'acqua in fase invernale.....	236
Graf.53 Limite di temperatura per la produzione dell'acqua in fase estiva.	236
Graf.54 Coefficienti correttivi COP.	238
Graf.55 Coefficienti correttivi EER.....	238
Graf.56 Fabbisogno della Pompa di Calore coperto con fotovoltaico.....	239

INDICE DELLE TABELLE

CAP. 01_ PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012

Tab.01	Indici urbanistici.	10
Tab.02	Superficie minima dei locali.	15

CAP. 02_ ANALISI PRELIMINARI

Tab.03	Distanza dell'area di progetto dai vari poli universitari milanesi.	32
Tab.04	Distanza dell'area di progetto dai punti di interesse.	34
Tab.05	Attività presenti nell'area in esame.	35
Tab.06	Temperature medie giornaliere.	64
Tab.07	Temperature medie mensili, Norma UNI 10349.	65
Tab.08	Prospetto II, Norma UNI 10349.	66
Tab.09	Temperatura giornaliera media mensile, dati ISTAT.	67
Tab.10	Parametri annuali legati alla temperatura media annuale.	67
Tab.11	Temperature medie annuali.	68
Tab.12	Parametri climatici in relazione alla zona climatica di riferimento.	69
Tab.13	Prospetto VIII, Norma UNI 10349.	71
Tab.14	Irradiazione solare giornaliera media mensile, Norma UNI 10349.	72
Tab.15	Irradianza massima solare estiva incidente su superfici verticali.	75

Tab.16	Angolo di altezza solare ed azimutale massima estiva.	76
Tab.17	Parametri di precipitazione dal 2000 al 2009, ISTAT.	78
Tab.18	Precipitazione giornaliera media mensile rilevata nell'anno 2010.	78
Tab.19	Parametri di comfort.	81

CAP. 05_ PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

Tab.20	Tipi di isolante.	159
Tab.21	Trasmittanza limite da normativa.	160

CAP. 06_ PROGETTAZIONE ENERGETICA

Tab.22	Caratteristiche degli alloggi analizzati.	174
Tab.23	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	179
Tab.24	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	180
Tab.25	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	180
Tab.26	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	181
Tab.27	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	181
Tab.28	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	182
Tab.29	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	182

Tab.30	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	183
Tab.31	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	184
Tab.32	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	184
Tab.33	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	186
Tab.34	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	186
Tab.35	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	187
Tab.36	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	188
Tab.37	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	188
Tab.38	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	190
Tab.39	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	191
Tab.40	Potenza richiesta dagli elettrodomestici in un appartamento.	192
Tab.41	Confronto con consumo energetico di corpi illuminanti.	193
Tab.42	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	194
Tab.43	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico estivo.	194
Tab.44	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	195
Tab.45	Temperature interne ed esterne all'alloggio, giorno critico invernale.	195
Tab.46	Percentuale di ombreggiamento.	202
Tab.47	Consumo giornalieri di acs per tipologia di edificio.	213
Tab.48	Consumo medio giornaliero di acs.	213
Tab.49	Fabbisogno di calore giornaliero per acs.	213

Tab.50	Area di pannelli solari necessaria (50%).	214
Tab.51	Area di pannelli solari necessaria (100%).	214
Tab.52	Irradiazione media mensile incidente.	215
Tab.53	Energia prodotta dai pannelli fotovoltaici.	215
Tab.54	Irradiazione media mensile incidente.	216
Tab.55	Energia prodotta dai pannelli fotovoltaici.	216
Tab.56	Energia totale prodotta dai pannelli fotovoltaici.	216
Tab.57	Portata corretta di acqua fredda e calda per la colonna C3.	217
Tab.58	Portata ridotta totale.	218
Tab.59	Potenza dello scambiatore di calore.	218
Tab.60	Potenza dello scambiatore di calore.	219
Tab.61	Guadagni per irradiazione.	220
Tab.62	Guadagni per irradiazione e trasmissione.	221
Tab.63	Guadagni per trasmissione.	222
Tab.64	Guadagni interni per persone ed apparecchi.	222
Tab.65	Calore latente.	222
Tab.66	Perdite di calore per trasmissione.	223
Tab.67	Fabbisogno estivo ed invernale per ogni locale.	223
Tab.68	Fabbisogni di potenza sensibile per estate e inverno.	224
Tab.69	Densità di flusso termico.	224

Tab.70 Sovratemperatura del liquido termico in estate ed inverno.	225	Tab.90 Potenza stagionale richiesta all'impianto.	235
Tab.71 Portata del flusso d'acqua nei tubi in estate ed inverno.	226	Tab.91 Temperature massime e minime richieste alla pompa di calore.	235
Tab.72 Potenza dell'impianto in estate ed inverno.	227	Tab.92 Potenza termica corretta.	236
Tab.73 Suddivisione dei locali in unità di trattamento dell'aria.	227	Tab.93 Potenza termica corretta.	236
Tab.74 Portata di ventilazione per i vari locali.	228	Tab.94 Parametri caratteristici della pompa di calore.	237
Tab.75 Condizioni stagionali di comfort.	228	Tab.95 Temperatura media mensile, ISTAT.	238
Tab.76 Portata di ventilazione corretta.	229	Tab.96 Fabbisogno di energia coperto dall'impianto fotovoltaico.	239
Tab.77 Temperatura di miscela.	229	Tab.97 Portata d'acqua di precipitazione.	239
Tab.78 Differenza tra temperatura di miscela e dell'aria interna.	229	Tab.98 Fabbisogno d'acqua dell'edificio.	240
Tab.79 Temperatura da cui partire per il raffrescamento.	230	Tab.99 Volume del serbatoio.	240
Tab.80 Energia da fornire alla batteria di raffrescamento.	230	Tab.100 Volume del serbatoio.	240
Tab.81 Potenza termica della batteria di raffrescamento.	231		
Tab.82 Potenza della batteria di riscaldamento.	232		
Tab.83 Dimensioni dell'unità di trattamento dell'aria.	232		
Tab.84 Variazione della temperatura dell'aria esterna, con il pretrattamento dell'aria.	233		
Tab.85 Portata di calcolo.	233		
Tab.86 Dimensioni equivalente dei canali di ventilazione.	233		
Tab.87 Portata di ventilazione per i locali dell'UTA.	234		
Tab.88 Dimensione equivalente dei canali di ventilazione.	234		
Tab.89 Condizioni esterne considerare nel calcolo.	235		

CAP. 07_PROGETTAZIONE STRUTTURALE

Tab.101 Classificazione ERSAL.	246
Tab.102 Peso pacchetto tecnologico.	262
Tab.103 Peso pacchetto tecnologico.	262
Tab.104 Peso pacchetto tecnologico.	263
Tab.105 Peso pacchetto tecnologico.	263
Tab.106 Peso pacchetti tecnologici.	264
Tab.107 Carichi d'esercizio in funzione alla destinazione d'uso dei locali.	265
Tab.108 Parametri di calcolo in relazione alla collocazione della costruzione.	267

Tab.109 Coefficiente di esposizione C_e	269	Tab.129 Carichi gravanti sul profilo SLE.	280
Tab.110 Coefficiente di forma relativo alla pressione esterna C_{pe}	270	Tab.130 Calcolo della freccia dal profilo.	281
Tab.111 Coefficiente di forma relativo alla pressione interna C_{pi}	270	Tab.131 Proprietà geometriche della sezione.	282
Tab.112 Coefficiente di forma per le pareti verticali C_p	270	Tab.132 Valore della tensione di snervamento.	282
Tab.113 Coefficiente di forma per le pareti verticali C_p	270	Tab.133 Definizione della classe del profilo.	283
Tab.114 Pressione del vento sui vari solai e sulla copertura.	271	Tab.134 Azioni interne.	284
Tab.115 Pressione tangenziale del vento sui vari solai e sulla copertura.	271	Tab.135 Area resistente a taglio.	285
Tab.116 Pressione totale del vento sui vari solai e sulla copertura.	272	Tab.136 Taglio resistente.	285
Tab.117 Azione totale del vento sui vari solai e sulla copertura.	272	Tab.137 Confronto tra taglio resistente ed azione interna.	285
Tab.118 Tabella 2.5.I , valori dei coefficienti di combinazione, T.U.	275	Tab.138 Resistenza di calcolo a compressione.	285
Tab.119 Tabella 2.6.I , coefficienti parziali per le azioni.	276	Tab.139 Resistenza di calcolo a flessione.	285
Tab.120 Carichi gravanti sulla chiusura orizzontale del livello +5.	277	Tab.140 Criterio di verifica della resistenza della sezione a presso-flessione. .	285
Tab.121 Combinazione SLU chiusura orizzontale livello +5.	277	Tab.141 Inerzia di predimensionamento della sezione.	287
Tab.122 Combinazione SLE chiusura orizzontale livello +5.	277	Tab.142 Confronto tra freccia del profilo e freccia massima consentita.	287
Tab.123 Carichi gravanti sulla chiusura orizzontale del livello-1.	277	Tab.143 Azione resistente del bullone.	290
Tab.124 Combinazione SLU chiusura orizzontale livello-1.	278	Tab.144 Forza agente sul bullone.	290
Tab.125 Carichi variabili per destinazione d'uso livello-1.	278	Tab.145 Confronto tra forza agente e forza resistente.	290
Tab.126 Combinazione di carico per i vari livelli.	278	Tab.146 Confronto tra forza agente e forza resistente.	291
Tab.127 Combinazione di carico per i vari livelli nel caso del ballatoio esterno.	278	Tab.147 Tipologia di bulloni scelta.	291
Tab.128 Inerzia di predimensionamento del profilo a sbalzo.	280	Tab.148 Tipologia di bulloni scelta.	291

Tab.149 Verifica a tranciamento e strappamento.	292	Tab.169 Confronto tra taglio agente e taglio resistente.	299
Tab.150 Verifica a tranciamento e strappamento.	292	Tab.170 Classificazione della sezione.	300
Tab.151 Verifica a rifollamento.	292	Tab.171 Momento resistente.	301
Tab.152 Inerzia di predimensionamento della sezione.	293	Tab.172 Momento agente.	301
Tab.153 Carico agente.	294	Tab.173 Confronto tra momento agente e momento resistente.	301
Tab.154 Confronto tra freccia del profilo e freccia massima consentita.	294	Tab.174 Momento critico.	303
Tab.155 Inerzia di predimensionamento della sezione.	295	Tab.175 Snellezza adimensionale della sezione.	303
Tab.156 Carichi agenti sul profilo.	295	Tab.176 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.	303
Tab.157 Taglio resistente.	296	Tab.177 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.	304
Tab.158 Sforzi tangenziali interni alla sezione.	296	Tab.178 Carichi totali agenti.	304
Tab.159 Taglio resistente.	296	Tab.179 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.	304
Tab.160 Carichi agenti sul profilo.	297	Tab.180 Taglio resistente.	305
Tab.161 Carichi permanenti.	297	Tab.181 Sforzo tangenziale interno al profilo.	305
Tab.162 Carichi agenti sul profilo.	297	Tab.182 Taglio resistente.	305
Tab.163 Carichi permanenti.	297	Tab.183 Carichi agenti totali.	306
Tab.164 Carichi agenti totali.	298	Tab.184 Taglio agente.	306
Tab.165 Taglio agente.	298	Tab.185 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.	306
Tab.166 Confronto tra taglio agente e taglio resistente.	298	Tab.186 Sforzo tangenziale dovuto al taglio.	306
Tab.167 Sforzo tangenziale dovuto al taglio.	299	Tab.187 sforzo tangenziale totale.	306
Tab.168 Sforzo tangenziale totale.	299	Tab.188 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.	307

Tab.189 Classificazione della sezione.	307	Tab.209 Momento resistente.	312
Tab.190 Momento resistente.	307	Tab.210 Momento agente.	312
Tab.191 Momento agente.	307	Tab.211 Confronto tra il momento agente ed il momento resistente.	312
Tab.192 Confronto tra momento agente e momento resistente.	307	Tab.212 Momento critico.	313
Tab.193 Momento critico.	308	Tab.213 Snellezza adimensionale della sezione.	314
Tab.194 Snellezza adimensionale della sezione.	309	Tab.214 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.	314
Tab.195 Coefficiente di riduzione dell'instabilità.	309	Tab.215 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.	314
Tab.196 Confronto tra il momento agente e il momento resistente.	309	Tab.216 Carico agente.	314
Tab.197 Carico agente.	309	Tab.217 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.	314
Tab.198 Confronto tra la freccia del profilo e la freccia limite.	309	Tab.218 Azione assiale agente per livello.	316
Tab.199 Taglio resistente.	310	Tab.219 Tensione di snervamento di progetto.	316
Tab.200 Sforzo tangenziale del profilo.	310	Tab.220 Area di predimensionamento.	316
Tab.201 Taglio resistente.	311	Tab.221 Peso del pilastro.	317
Tab.202 Carichi agenti.	311	Tab.222 Carico agente.	318
Tab.203 Taglio agente.	311	Tab.223 Verifica dell'area.	319
Tab.204 Confronto tra il taglio agente ed il taglio resistente.	311	Tab.224 Classificazione della sezione.	320
Tab.205 Tensione tangenziale dovuta al taglio.	311	Tab.225 Proprietà della sezione.	321
Tab.206 Tensione tangenziale totale.	311	Tab.226 Azioni interne nella direzione di inerzia y-y.	321
Tab.207 Confronto tra il taglio agente ed il taglio resistente.	312	Tab.227 Azioni interne nella direzione di inerzia z-z.	321
Tab.208 Classificazione della sezione.	312	Tab.228 Azioni interne nella direzione di inerzia y-y.	321

Tab.229 Azioni interne nella direzione di inerzia z-z	324	Tab.249 Carico strutturale della trave agente.	340
Tab.230 Caratteristiche dimensionali e taglio resistente.	324	Tab.250 Carichi agenti per livello.	340
Tab.231 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.	325	Tab.251 Azione assiale agente per livello.	340
Tab.232 Azione assiale resistente.	325	Tab.252 Sezione scelta del pilastro.	341
Tab.233 Momento resistente.	326	Tab.253 Peso strutturale del pilastro.	341
Tab.234 Verifica della flessione.	326	Tab.254 Azione assiale agente per livello.	341
Tab.235 Confronto tra il taglio agente e il taglio resistente.	326	Tab.255 Verifica a compressione.	341
Tab.236 Definizione del coefficiente λY	328	Tab.256 Periodo del modo di vibrare principale.	342
Tab.237 Definizione del coefficiente λY	328	Tab.257 Tab. 2.4.II, valori del coefficiente d'uso CU, NTC.	344
Tab.238 Coefficienti di momento equivalente.	328	Tab.258 Tabella 2.4.I,vita nominale VN per diversi tipi di opere, NTC.	345
Tab.239 Rapporto tra i momenti all'estremità.	329	Tab.259 T abella 3.2.I ,probabilità di superamento P_{VR} al variare dello SL.	346
Tab.240 Coefficiente μ_V	329	Tab.260 V_r, P_{VR}, T_r associati agli stati limite considerati.	346
Tab.241 Coefficiente μ_z	329	Tab.261 Tabella 3.2.IV , categorie topografiche, NTC.	348
Tab.242 Coefficiente K_V	329	Tab.262 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST,NTC.	348
Tab.243 Coefficiente K_z	329	Tab.263 Tabella 3.2.II, categorie di sottosuolo, NTC.	348
Tab.244 Verifica a pressoflessione del pilastro.	330	Tab.264 Coefficienti di amplificazione stratigrafica.	349
Tab.245 Predimensionamento della trave in c.a.	337	Tab.265 Valore di T_c	349
Tab.246 Area di influenza corretta.	338	Tab.266 Valore di T_B	349
Tab.247 Carico agente.	338	Tab.267 Valore di T_D	349
Tab.248 Carichi variabili agenti corretti.	339	Tab.268 Fattore di struttura in relazione alla tipologia strutturale.	350

Tab.269 Valore dello spettro di progetto.	350
Tab.270 Valore dello spettro elastico.	351
Tab.271 Pesi per la tecnologia in c.a.....	355
Tab.272 Pesi per la tecnologia in moduli prefabbricati 6x3 m ²	355
Tab.273 Pesi per la tecnologia in moduli prefabbricati 3x3 m ²	355
Tab.274 Masse strutturali per livello.	356
Tab.275 Masse non strutturali livello +1.	356
Tab.276 Masse non strutturali per livello.	357
Tab.277 Sovraccarichi accidentali.	357
Tab.278 Sovraccarichi accidentali per livello.	357
Tab.279 Peso totale di ogni piano.	358
Tab.280 Risultato della forza sismica orizzontale agente per piano allo SLD.	358
Tab.281 F_h : risultante di una distribuzione di forze di piano allo SLD.	358
Tab.282 Risultato della forza sismica orizzontale agente per piano allo SLV.	358
Tab.283 F_h :risultante di una distribuzione di forze di piano allo SLV.	358
Tab.284 Baricentro geometrico di piano.	361
Tab.285 Dimensioni dei singoli controventi.	362
Tab.286 Rigidezze dei singoli controventi.....	362
Tab.287 Baricentro delle rigidezze.....	363
Tab.288 Confronto tra forza del vento e forza del sisma.	363

Tab.289 Inerzie di piano.	363
Tab.290 Reazioni dei controventi.	363
Tab.291 Carichi agenti sui controventi.	365
Tab.292 Spostamenti nelle diverse direzioni o versi delle forze orizzontali.	365

CAP. 08_PROGETTAZIONE ERGOTECNICA

Tab.293 Caratteristiche dimensionali della palificatrice.	389
Tab.294 Caratteristiche dimensionali dell'escavatore, modello piccolo.	390
Tab.295 Caratteristiche tecniche degli scavi eseguiti con l'escavatore scelto. .	390
Tab.296 Caratteristiche dimensionali dell'autocarro scelto.	391
Tab.297 Caratteristiche dimensionali dell'autobetonpompa.	391
Tab.298 Caratteristiche dimensionali dei nastri trasportatori.	392
Tab.299 Soluzione S/R e tecnologia prefabbricata: confronto durata cantiere.	402
Tab.300 Soluzione S/R e tecnologia prefabbricata: confronto durata cantiere.	409

INDICE DELLE TAVOLE [BOOK A3]

01. VISTE ESTERNE_FRONTI NORD EST

CAP. 01_PREMIO COMPASSO VOLANTE 2012

02. TAVOLA DI CONCORSO

CAP. 02_ANALISI PRELIMINARI

03. ANALISI CROMATISMI

CAP. 04_PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

04. MASTERPAN

05. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO-2

06. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO-1

07. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO 0

08. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO +1

09. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO +2

10. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO +3

11. PIANTE ARCHITETTONICHE_LIVELLO +4

12. SEZIONE ARCHITETTONICA

13. VISTE INTERNE_BANCA DEL TEMPO

14. VISTE INTERNE_ALLOGGIO SINGOLO

15. VISTE INTERNE_SOCIAL ROOM

16. PROSPETTI_NORD

17. PROSPETTI_EST

18. PROSPETTI_OVEST

19. PROSPETTI_SUD

CAP. 05_PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

20. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE ORIZZONTALI

21. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE ORIZZONTALI

22. PACCHETTI TECNOLOGICI_PARTIZIONI ORIZZONTALI

23. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE VERTICALI

24. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE VERTICALI

25. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE VERTICALI

26. PACCHETTI TECNOLOGICI_PARTIZIONI VERTICALI

27. PACCHETTI TECNOLOGICI_PARTIZIONI VERTICALI

28. PACCHETTI TECNOLOGICI_CHIUSURE CORNICI E SERRA

29. DETTAGLI COSTRUTTIVI_NAVIGATORI

30. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT01

31. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT02

32. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT03

33. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT04

34. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT05

35. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT06

36. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT07

37. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT08

38. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT09

39. DETTAGLI COSTRUTTIVI_DT10

40. ESPLOSO TECNOLOGICO

CAP. 06_PROGETTAZIONE ENERGETICA

41. SIMULAZIONI DINAMICHE_ALLOGGIO 2

42. SIMULAZIONI DINAMICHE_ALLOGGIO 2

43. SIMULAZIONI DINAMICHE_ALLOGGIO 3

44. SIMULAZIONI DINAMICHE_ALLOGGIO 3

45. SCHEMATIC DESIGN_SITUAZIONE INVERNALE

46. SCHEMATIC DESIGN_SITUAZIONE ESTIVA

47. VISTE ESTERNE_FRONTI SUD OVEST

CAP. 07_PROGETTAZIONE STRUTTURALE

48. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO-2

49. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO-1

50. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO 0

51. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO +1

52. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO +2

53. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO +3

54. PIANTE STRUTTURALI_LIVELLO +4

55. PIANTE STRUTTURALI_COPERTURA

56. SEZIONE STRUTTURALE

CAP. 08_PROGETTAZIONE ERGOTECNICA

57. ANALISI AREA DI PROGETTO_VIABILITA'

58. ANALISI AREA DI PROGETTO_CANTIERE

59. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA ALLESTIMENTO

60. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE ALLESTIMENTO

61. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA CONSOLIDAMENTO SCAVO

62. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE CONSOLIDAMENTO SCAVO

63. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA MOVIMENTO TERRA

64. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE MOVIMENTO TERRA

65. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA MOVIMENTO TERRA

- 66. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE MOVIMENTO TERRA
- 67. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE MOVIMENTO TERRA
- 68. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA CASSERATURA E GETTO
- 69. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE CASSERATURA E GETTO
- 70. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE CASSERATURA E GETTO
- 71. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA ALLESTIMENTO
- 72. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE ALLESTIMENTO
- 73. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA MOVIMENTO TERRA
- 74. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA MOVIMENTO TERRA
- 75. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA POSA MODULI
- 76. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE POSA MODULI
- 77. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA POSA MODULI
- 78. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE POSA MODULI
- 79. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA FINITURA SUPERFICIALE
- 80. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE FINITURA SUPERFICIALE
- 81. LAYOUT DI CANTIERE_PIANTA POSA SERRE
- 82. LAYOUT DI CANTIERE_SEZIONE POSA SERRE
- 83. FASI COSTRUTTIVE_1÷4
- 84. FASI COSTRUTTIVE_5÷8
- 85. FASI COSTRUTTIVE_9÷12

- 86. FASI COSTRUTTIVE_13÷16
- 87. FASI COSTRUTTIVE_17÷20

- 88. VISTE ESTERNE_FRONTI SUD EST

ALLEGATI

RINGRAZIAMENTI

Vogliamo ringraziare tutti coloro che ci hanno guidato e stimolato durante questo percorso di ricerca, nella consapevolezza che tutti i suggerimenti e gli aiuti che abbiamo ricevuto sono scaturiti dalla loro generosità e passione per la professione:

il Professore Marco Imperadori, il faro in questo lungo progetto, che ci ha proposto obiettivi ambiziosi aprendo le nostre menti a nuovi interessi;

il Professore Roberto Francieri, un punto fermo per il nostro lavoro, che ha seguito e sostenuto i nostri passi;

i Professori Matteo Colombo e Graziano Salvalai, per averci sempre mostrato disponibilità nel chiarire ogni incertezza sui passaggi più tecnici e delicati;

il Professore Arturo Montanelli e l'Ing. Amalia Vivian, il collegamento con le tecniche della prefabbricazione, per aver fatto luce su un argomento così sperimentale e innovativo;

l'Arch. Luigi Carretta e l'Ing. Ferruccio Galmozzi, i quali ci hanno trasmesso con grande disponibilità le loro conoscenze professionali nell'ambito del nostro progetto;

l'Ing. Giulio Zani, per averci agevolato nei passaggi più difficili grazie alla sua reperibilità e alla sua amichevole attenzione anche nei ritagli di tempo non programmati;

il Prof. Matteo Brasca compagno di viaggio, ma anche maestro severo, ci ha accompagnato con sicurezza lungo tutta l'affascinante esperienza del Compasso Volante;

tutti i compagni di corso e di crescita con i quali abbiamo condiviso tensioni e fatiche, insieme a gioie ed esperienze indimenticabili.

Infine, un ringraziamento particolare va alla Professoressa Adele Carla Buratti, per averci fatto da guida nelle ricerche sulla città di Milano, non solo attraverso materiali e spiegazioni, ma anche facendoci partecipi del suo modo di viverla ed amarla.