



POLITECNICO DI MILANO

FACOLTA' DI INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

ABITARE OGGI

Riqualificazione di un'area industriale dismessa a Bergamo
attraverso la ricreazione del tessuto urbano,
e progettazione di un edificio residenziale sociale.

RELATORE
CO-RELATORE

Prof. Massimo TADI
Ing. Gabriele MASERA
Ing. Paolo MARTINELLI

TESI DI LAUREA

Larissa BLASER
Camille VINCENT

Matr. 764364
Matr. 764800

INDICE

ABSTRACT - ITALIANO	10
ABSTRACT - INGLESE	11
CAPITOLO I. DIAGNOSI	13
1. INQUADRAMENTO DELL'AREA	13
A. Sviluppo storico di Bergamo	13
a. <i>Periodo antico (-> 540 environ)</i>	13
b. <i>Periodo medievale (fino 1492 ou 1517)</i>	14
c. <i>Periodo moderno</i>	15
d. <i>Periodo contemporaneo (1815/70-1989)</i>	19
e. <i>Sviluppo ferroviario e Magazzini Generali di Bergamo</i>	21
B. Contesto morfologico	22
a. <i>Ubiquazione dell'area</i>	22
b. <i>Topografia (Edificato, Boschi, Laghi/Fiumi)</i>	22
c. <i>Tessuto urbano</i>	23
C. Contesto funzionale	24
a. <i>Funzioni residenziali</i>	24
b. <i>Funzioni di servizi & produzione</i>	24
c. <i>Paragone tra le due categorie di funzione</i>	24
D. Accessibilità e Mobilità	25
a. <i>Accessibilità</i>	25
b. <i>Mobilità pubblica</i>	25
c. <i>Mobilità privata</i>	25
E. Dinamiche demografiche	26
F. Politica urbana	27
G. Analisi climatica	30
H. Analisi FDOM	34
2. INQUADRAMENTO DEL SOGGETTO	35
A. Progettare localmente	35
a. <i>Sostenibilità</i>	35
b. <i>Caratteri dell'architettura residenziale a Bergamo</i>	36
B. Progettare l'isolato : Il tema della corte nella storia italiana e le sue interpretazioni internazionali e recenti	39

CAPITOLO II. PROGETTO ARCHITETTONICO	45
1. PROGETTAZIONE URBANA	45
A. Sviluppo della rete viaria	45
B. Schema funzionale	50
C. Masterplan	52
a. Riferimenti generali	52
b. Sviluppo del masterplan	54
c. Elaborati finali	55
D. Elaborati grafici	55
2. PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA	56
A. Riferimenti	56
B. Sviluppo degli appartamenti	59
C. Progettazione delle zone di connessioni verticali e disposizione degli appartamenti	61
D. Elaborati grafici	62
 CAPITOLO III. STRATEGIE TECNOLOGICHE	 65
1. PROGETTO TECNOLOGICO	65
A. Elenco delle stratigrafie di progetto	66
B. Valutazione delle prestazioni	67
a. Prestazioni termiche in regime stazionario	67
b. Prestazioni termiche in regime dinamico	67
c. Prestazioni antincendio	67
d. Prestazioni igrotermiche	67
e. Prestazioni acustiche	68
C. Stratigrafie di progetto	69
a. CO1 - Soletta controterra	69
b. CO2/3/4 - Copertura degli appartamenti	70
c. CV1 - Muro controterra	71
d. CV2/3 - Muro di tamponamento	72
e. PV1 - Parete divisorie nei locali	73
f. PV2 - Muro di confine tra locali	73
g. PV3 - Parete divisoria	74
h. PV4 - Muro di confine	74
i. PO - Soletta interpiano	75

j.	<i>PeO1/2 - Soletta balcone senza e con isolamento</i>	76
k.	<i>PeO3/4 - Copertura balcone senza e con isolamento</i>	76
l.	<i>Stratigrafie delle torre di circolazione</i>	77
m.	<i>Tavole di dettagli allegati</i>	78
D.	Verifica dell'accessibilità	79
a.	<i>Porte</i>	79
b.	<i>Servizi igienici</i>	79
c.	<i>Cucina</i>	79
d.	<i>Corridoi</i>	79
e.	<i>Torre di circolazione</i>	79
f.	<i>Indicazione del percorso</i>	80
E.	Verifica antincendio	80
a.	<i>Requisiti costruttivi</i>	80
b.	<i>Resistenza al fuoco alle strutture</i>	80
c.	<i>Accesso all'area</i>	81
d.	<i>Scale</i>	81
2.	PROGETTO ILLUMINOTECNICO	82
A.	Introduzione	82
B.	Studio delle ombre	83
C.	Studio degli indicatori FLD_m e E_m	85
a.	<i>Spazio soggiorno e cucina, appartamento T2, Ala</i>	85
b.	<i>Spazio soggiorno e cucina, appartamento T3</i>	86
c.	<i>Spazio soggiorno e cucina, appartamento T4</i>	87
d.	<i>Camera, appartamento T2</i>	88
e.	<i>Camera matrimoniale, appartamento T3</i>	89
f.	<i>Camera, appartamento T3</i>	90
g.	<i>Camera matrimoniale, appartamento T4</i>	91
h.	<i>Camera singola 1, appartamento T4</i>	92
i.	<i>Camera singola 2, appartamento T4</i>	93
j.	<i>Bagno grande, tutti tipi di appartamenti</i>	94
k.	<i>Bagno piccolo, appartamento T4</i>	95
l.	<i>Antibagno, appartamento T4</i>	96
m.	<i>Conclusioni</i>	97
3.	PROGETTO ENERGETICO	98
A.	Introduzione e obiettivi energetici	98
B.	Analisi del clima locale	100
C.	Bilancio energetico e simulazioni	103
a.	<i>Comfort termico</i>	103
b.	<i>Consumo energetico</i>	108
c.	<i>Guadagni e perdite passive</i>	112

CAPITOLO IV. PROGETTO STRUTTURALE	117
1. CARATTERISTICHE DI PROGETTO	117
A. Introduzione	117
B. Azioni	121
a. Coefficienti di sicurezza	121
b. Peso proprio della soletta dei piani G_1	122
c. Peso permanente non strutturale G_2	123
d. Pesi della copertura	124
e. Carico variabile Q_k	125
C. Combinazione delle azioni	125
2. CALCOLO DEI SOLAI DEI PIANI 1° A 4°	126
A. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite ultimi	127
B. Azioni dovuti ai balconi	127
C. Combinazione agli stati limite ultimi	130
a. Diagramma involuppo dei momenti flettenti	133
b. Predimensionamento delle armature	134
c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione	135
d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio	135
e. Tracciato delle armature	136
D. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio	138
a. Combinazione caratteristica (rara)	138
b. Combinazione quasi permanente	139
c. Combinazione frequente (per la fessurazione)	139
d. Verifica alla fessurazione	139
e. Controllo delle deformazioni	140
3. CALCOLO DEL SOLAIO DI COPERTURA	141
A. Combinazione agli stati limite ultimi	142
a. Diagramma involuppo dei momenti flettenti	144
b. Predimensionamento delle armature	144
c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione	145
d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio	145
e. Tracciato delle armature	146
B. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio	147
a. Combinazione caratteristica (rara)	147
b. Combinazione quasi permanente	147
c. Combinazione frequente (per la fessurazione)	148
d. Verifica alla fessurazione	148
e. Controllo delle deformazioni	148
4. CALCOLO DELLE TRAVI DEI PIANI 1° A 4°	149

A.	Analisi delle sollecitazioni	150
a.	Travi di bordo TB2	150
b.	Travi interne TI1	151
B.	Combinazione delle azioni	152
a.	Travi di bordo TB2	152
b.	Travi interne TI1	152
C.	Casi di studio	153
5.	TRAVI DI BORDO TB2	154
A.	Combinazione agli stati limiti ultimi	154
a.	Altezza utile della trave	157
b.	Predimensionamento delle armature	159
c.	Verifica allo stato limite ultimo per flessione	159
d.	Verifica allo stato limite ultimo per taglio	160
e.	Tracciato delle armature	161
B.	Combinazione agli stati limiti di esercizio	162
a.	Combinazione caratteristica (rara)	162
b.	Combinazione quasi permanente	163
c.	Combinazione frequente (per la fessurazione)	163
d.	Verifica alla fessurazione	164
e.	Controllo delle deformazioni	164
6.	TRAVI INTERNE TI1	165
A.	Combinazione agli stati limiti ultimi	165
a.	Predimensionamento delle armature	165
b.	Verifica allo stato limite ultimo per flessione	166
c.	Verifica allo stato limite ultimo per taglio	166
d.	Tracciato delle armature	167
B.	Combinazione agli stati limiti di esercizio	168
a.	Combinazione caratteristica (rara)	168
b.	Combinazione quasi permanente	168
c.	Combinazione frequente (per la fessurazione)	168
d.	Verifica alla fessurazione	169
e.	Controllo delle deformazioni	169
7.	CALCOLO DELLE TRAVI IN COPERTURA	170
A.	Travi di bordo TB2	170
a.	Combinazione agli SLU	170
b.	Combinazione agli SLE caratteristica	172
c.	Verifica alla fessurazione	173
d.	Controllo delle deformazioni	173
B.	TRAVI INTERNE TI1	173
a.	Combinazione agli SLU	173
b.	Combinazione agli SLE caratteristica	175

c.	<i>Verifica alla fessurazione</i>	175
d.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	175
8.	CALCOLO DEI PILASTRI	176
A.	Analisi delle sollecitazioni per compressione centrata	176
a.	<i>Pilastri in bordo</i>	176
b.	<i>Pilastri interni</i>	179
B.	Ulteriore analisi	180
	BIBLIOGRAFIA	183
	INDICE DELLE FIGURE	186
	INDICE DELLE TAVOLE	190
	RINGRAZIAMENTI	192

ABSTRACT

Il progetto presentato qui dopo è collocato a Bergamo, in un'area vicina alla stazione ferroviaria. Quest'area è caratterizzata dalla presenza da un edificio principale : il Silos degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo. L'edificio, oggi dismesso, ma in uno stato di fatto abbastanza buono per poter pensare a un recupero ci ha attrate all'inizio. Dopo il suo studio attraverso due corsi sui temi del recupero e del restauro, abbiamo voluto andare avanti con un'altra parte dell'area, nel quadro di una riflessione sul funzionamento globale della zona.

Il progetto inizia con l'inquadramento del suo ambito, dai punti di vista storico, morfologico, funzionale, con analisi della mobilità, dell'accessibilità, analisi demografica, climatica e della politica urbana. Con la buona comprensione dell'area e dei suoi dintorni dopo lo studio estensivo, abbiamo scelto di lavorare sul tema dell'abitare. Infatti questa problematica universale e classica ci interessava particolarmente, con la progettazione di luoghi di abitazione addetti alla località e ai tempi. Abbiamo cercato di capire come si pensa e si progetta il luogo che risponde a uno dei bisogni primari dell'uomo, studiando le caratteristiche delle soluzioni anteriori, in particolare nella regione di Bergamo.

Seguendo questa scelta, viene l'inquadramento del soggetto della nostra tesi, ovvero progettare un edificio residenziale. Con le conclusioni di questa prima parte, abbiamo sviluppato il progetto di riqualificazione urbana e architettonica dell'area, concentrandosi sulla parte residenziale di quella.

I successivi approfondimenti riguardano lo studio delle soluzioni tecnologiche per permettere la progettazione di un edificio ad alta efficienza energetica, assicurandone una qualità di uso migliore. Sono stati realizzati un'analisi dell'illuminamento e del comfort visivo, e poi un bilancio energetico, per verificare l'effettiva qualità e efficienza energetica del progetto. Con un approfondimento strutturale abbiamo valutato lo sfruttamento al massimo delle opportunità del nostro edificio, in particolare quelle dovute alla sua forma, con la presenza in cima all'edificio di giardini e orti destinati agli abitanti.

Questa tesi è voluta come un tentativo di progettazione complessa prendendo in conto l'insieme delle informazioni e dei dati legati alla collocazione nello spazio e nel tempo del progetto, con l'obiettivo di raggiungere una buona qualità di uso di questo progetto.

ABSTRACT

The project here presented is located in Bergamo, Italy, on a zone close to the railway. This area is characterized by the presence of a very defining building : the Silo of the Ex-Magazzini di Bergamo. The building, now disused, but in a state good enough to think about its refurbishment, has attracted us at the beginning. After studying it during two courses on the themes of refurbishment and conservation, we wanted to go further with the project, considering another part of the area, within the framework of a reflection on the global system of the zone.

The project starts with the framing of its environment, on several levels : historical, morphological, functional, with analysis of the mobility, accessibility, demography, climate and urban policies. With a good understanding of the area and its surroundings after this extended study, we have decided to work on the residential architecture theme. This issue being universal and classical got us particularly interested in it, with the conception of living spaces adapted to their location in space and time. We tried to understand how to conceive a space responding to one of the primary needs of the man, studying the characteristics of previous solutions, especially in the region of Bergamo

Following this choice, comes the framing of the subject of this thesis, which is the conception of a residential building. With the conclusions from this first part, we developed the urban and architectural refurbishment project of the area, concentrating our studies on its residential part.

The next investigations concern the study of technological solutions to enable the conception of a highly efficient building on an energetical level, to guarantee a better quality for its use. A lighting analysis and an energetical balance have been done to verify the effective quality and energy efficiency of the project. With a structural study we have validated that it is possible to take advantage of the opportunities for the building, such as the ones due to its form, with the possibility to have a garden on top of the building for the inhabitants.

This thesis is an attempt at making a project with a complex conception, taking in account all the informations and data linked to the location in space and time of the project, with a goal of reaching a good quality for the use of this project.

INDICE CAPITOLO I

CAPITOLO I. DIAGNOSI 13

1. INQUADRAMENTO DELL'AREA 13

A. Sviluppo storico di Bergamo 13

a. *Periodo antico (-> 540 environ)* 13

b. *Periodo medievale (fino 1492 ou 1517)* 14

c. *Periodo moderno* 15

d. *Periodo contemporaneo (1815/70-1989)* 19

e. *Sviluppo ferroviario e Magazzini Generali di Bergamo* 21

B. Contesto morfologico 22

a. *Ubiquazione dell'area* 22

b. *Topografia (Edificato, Boschi, Laghi/Fiumi)* 22

c. *Tessuto urbano* 23

C. Contesto funzionale 24

a. *Funzioni residenziali* 24

b. *Funzioni di servizi & produzione* 24

c. *Paragone tra le due categorie di funzione* 24

D. Accessibilità e Mobilità 25

a. *Accessibilità* 25

b. *Mobilità pubblica* 25

c. *Mobilità privata* 25

E. Dinamiche demografiche 26

F. Politica urbana 27

G. Analisi climatica 30

H. Analisi FDOM 34

2. INQUADRAMENTO DEL SOGGETTO 35

A. Progettare localmente 35

a. *Sostenibilità* 35

b. *Caratteri dell'architettura residenziale a Bergamo* 36

B. Progettare l'isolato : Il tema della corte nella storia italiana e le sue interpretazioni internazionali e recenti

CAPITOLO I. DIAGNOSI

1. INQUADRAMENTO DELL'AREA

A. Sviluppo storico di Bergamo

a. Periodo antico (-> 540 environ)

A Bergamo, durante la fine della preistoria, il territorio era meno popolato dalle aree bresciane e comasco varesine. Le prime tracce di attività umana sono i resti di necropoli e risalgono al V secolo a.C., sia intorno alla città che dentro. Poi, Bergamo entra nell'età romana in 49 a.C. con la Lex Roscia, che dà la nazionalità romana ai suoi cittadini, e viene delimitato il territorio grazie ai limiti naturali (Adda a Ovest, etc). In questo periodo la città è organizzata con il cardo e il decumanus che si incontrano in un punto chiamato compitum (oggi dove c'è la torre del Gombito), marcando l'ombilicus urbis. Bergamo si trovava sull'insieme di colli e valli che oggi formano la città alta, sito favorevole perchè naturalmente protetto dalle circostanti plaghe paludose e facilmente difendibile grazie alla sua eminenza.



Fig.I.1 - Topografia di Bergamo anteriore alle costruzioni [3]

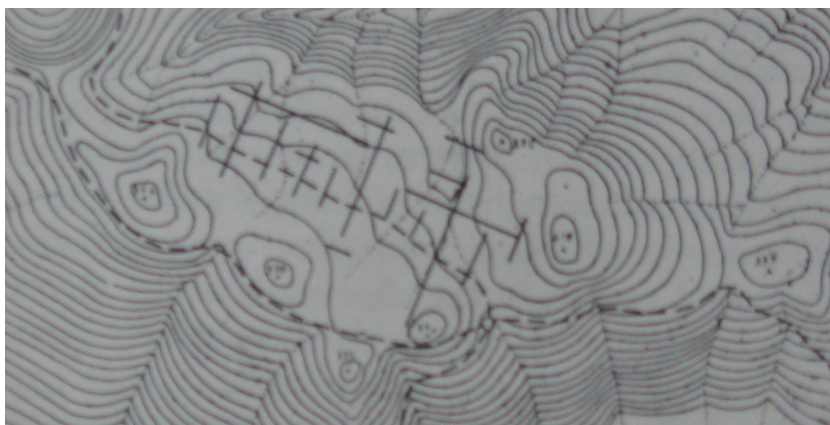


Fig.I.2 - Ipotesi del tracciato urbano di Bergamo romana con l'orografia delle colli e valli [3]

Rispetto all'area della pianura, alcuni documenti e l'uso di analogia con situazioni simili mostrano che gli insediamenti dell'età romana esterni alla città sono artigianali, attorno alle strade di accesso alla città, e ci sono anche ville suburbane per la coltivazione della pianura. La denominazione di due di questi insediamenti sono "Palatium", oggi Borgo Palazzo, verso est, e "Pretorium" sulle pendici meridionali del colle.

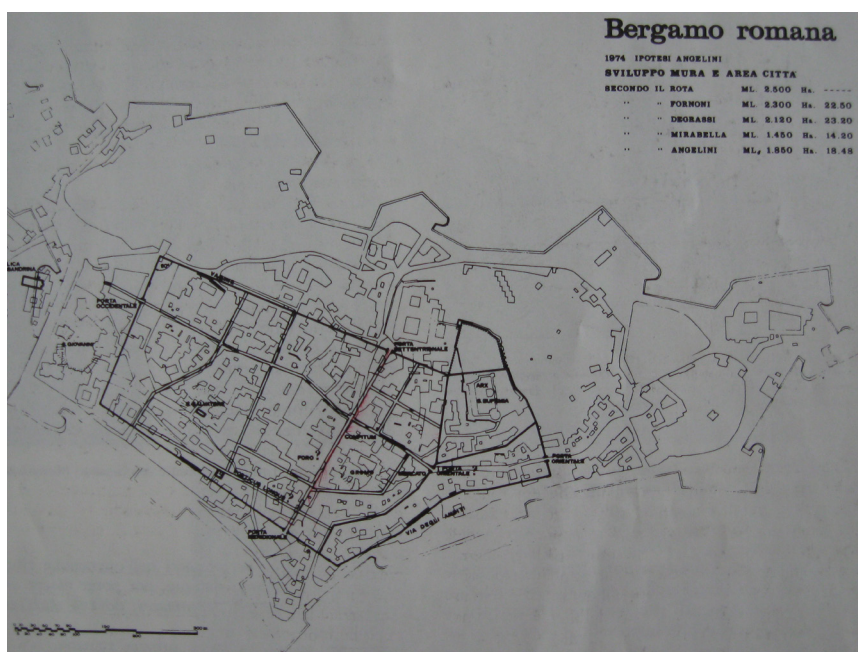


Fig.I.3 - Diverse ipotesi di tracciati urbani per Bergamo romana [3]

b. Periodo medievale (fino 1492 ou 1517)

In 568 avviene la conquista longobarda della città e del territorio. Sono presenti sul territorio numerosi chiese e monasteri, su cui sono disponibili informazioni, ma per il resto di Bergamo non ci sono a disposizione molte notizie. La città funzionava allora con la dicotomia tra potere religioso (il vescovo) e il potere laico (il comes).

Il territorio era suddiviso in tre corti regie : la "civitas" che corrispondeva alla città alta; la "curtis murgula", dal nome dal torrente Morla, per la città bassa, e una terza "curtis" situata verso Almenno. Il sistema curtense accentuava la distinzione dei territori per il tipo di economia chiusa e di autonomia la maggior parte del tempo. Ogni "curtis" era organizzata feudalmente con entrambi poteri religioso e laico. A Bergamo viene quindi accentuata la dicotomia fra quelle che chiamiamo oggi città alta e città bassa.

Fra i IX e X secoli, alcune aree demaniali diventano di proprietà ecclesiastica, grazie a delle donazioni. Queste aree fanno allora parte dal "territorium civitatis".

La prima menzione della fiera, sul campo S. Alessandro, risale all'anno 908, e l'economia in vigore può essere qualificata di monetaria, e non localista. Questi due elementi rivelano la presenza di scambi con l'esterno di Bergamo.

All'inizio del X secolo sono scritte le prime notizie relative a un canale irriguo, derivato dal Brembo, e nell'anno 1000 questo canale è già diventato rete, che deriva anche dal Serio.

In 1098, il vescovo Arnolfo viene cacciato, dopo esser già stato scomunicato e Bergamo si proclama libero comune. In questa nuova organizzazione, il potere laico è multiple e non più unico. Gli interventi realizzati sotto il Comune sono legati alla rete idrica già esistente. Lo sviluppo ulteriore della rete è razionalmente pianificato per permettere lo sviluppo economico e urbano delle terre vicine alla città alta. Lo scavo del "fossatum communis Pergami" inizia alla fine del XII secolo, con un tracciato che passa a sud del prato S. Alessandro, separando in un segnale forte il luogo della fiera dalla la campagna. Quest'opera sembra stimolare la fondazione di monasteri in pianura verso la fine del XII secolo e l'inizio del XIII secolo, tra cui tre monasteri degli Umiliati, che lavorano la lana e sono posti in punti strategici vicino al 'fossatum'.

Verso la metà del XIII secolo, il Comune decise che il canale deve essere attraversabile solo in punti sorvegliati, porte in legno, e poi "stongarde" in muratura di pietra (oggi rimangono anche alcune torri come a Longuelo, il portone di S. Matteo). L'insieme di quest'opera si chiama "roggia Serio", e viene percepita come nuova cinta urbana. All'interno del territorio della città bassa, si costruiscono monasteri, formando una maglia regolare che determinerà poi il tessuto urbano com'è conosciuto oggi.



Fig.I.4 - Bergamo medievale [3]

c. Periodo moderno

A partire dall'anno 1428, Bergamo appartiene al dominio di Terra Ferma di Venezia, la Serenissima. Essendo al confine ovest di quel territorio, vicinissimo a Milano, Venezia fa erigere delle mure per proteggere l'insieme della città. Sono chiamate Muraine, e inglobano la maggior parte dei borghi ciscostanti, racchiudendo la città bassa e riconnettendo agli estremi con le mura medievali della città alta. Le posizioni originali delle porte sono conservate. Per le ragioni militari e anche per delle ragioni economiche importanti (posizione sulle maggiori direttrici di scambio commerciale & di traffico, e peso delle attività produttive e mercantili con la fiera) Venezia pone un'attenzione particolare a Bergamo, riconoscendola come un'entità che comprende sia la città alta che la pianura.

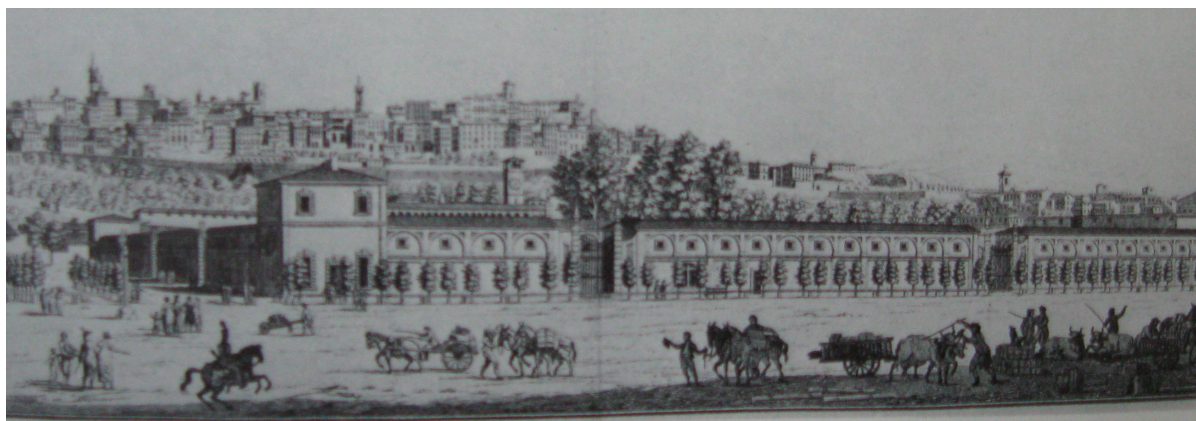


Fig.1.6 - Il Sentierone, stampa della metà del XVII [3]

All'inizio del XVII secolo i tessuti di lana e di seta, anche con quelli di ferro lavorato sono i punti maggiori dell'economia della Fiera. Si svolge ad agosto, e durante l'anno, è un mercato del denaro, con prodotti pregiati per esportazione. In 1601, la raccolta di grano del territorio non supera il bisogno per cinque mesi. In 1630, una forte epidemia di peste avviene, avendo un forte impatto sulla demografia del territorio, conseguenza che durerà per alcune decenie.

Il mercato dei cereali si trasferisce in 1676 dalla Piazza Nuova in città alta al prato della Fiera, e visto il notevole peso finanziario di questo mercato. Con il spostamento delle attività produttive e economiche nella città bassa di Bergamo, la città alta si riempie di palazzi. Nel Settecento, si vede lo sviluppo dei settori minerario, con la lavorazione del ferro per armi ed altri oggetti, e tessile (in lana e seta). Seguendo questo sviluppo, la "fiera di pietra" è costruita da 1734 a 1740.

Il dominio di Venezia si ferma in 1797 con l'arrivo di Napoleone a Bergamo. Il periodo napoleonico di Bergamo dura fino a 1814. Fra 1806 e 1809 è costruito il Teatro Sociale, su un progetto di Leopoldo Pollack. L'anno 1809 vede l'ampliamento dei confini con l'aggregazione di 28 comuni contermini. La conseguenza è un'aumento dei dati ufficiali sulla popolazione urbana, che passa da 24.459 a 41.663 abitanti.

L'Accademia Carrara, fondata alla fine del Settecento, si trasferisce in un nuovo edificio in 1810, edificio di stile neo-classico, costruito da Simone Elia, studente di Leopoldo Pollack. Nello stesso anno, è creata la prima pianta catastale di Bergamo.



Fig.1.7 - Piano di Bergamo con la fiera di pietra [3]



Fig.1.8 - Accademia Carrara [3]

d. Periodo contemporaneo (1815/70-1989)

Dopo la caduta di Napoleone in 1815, Bergamo passa sotto dominazione austriaca, secondo il tratto di Vienna. Questo periodo durerà fino a 1859 quando Garibaldi libera la città.

In 1825, il Comune acquista le mura, e inizia la costruzione del viale delle mura, dalla porta S. Agostino al Colle Aperto. In 1837 avviene la costruzione della Barriera delle Grazie, oggi Porta Nuova, al sud dell'area della Fiera. Segue il tracciamento della strada Ferdinandea in 1838, collegando la Barriera alla città alta, fino alla Porta S. Agostino nella prosecuzione naturale del viale delle mura, dal nome dell'imperatore Ferdinando I d'Austria. Il liceo-ginnasio viene costruito in 1846 dall'arch. Crivelli, verso la parte meridionale delle mura.

Negli anni 1850 i settori del lanificio e del setificio entrano in crisi, e avviene il decollo dal settore del cotonificio. Garibaldi libera la città di Bergamo dalla dominazione austriaca in 1859. Dal punto di vista dell'organizzazione, la municipalità si trasferisce dalla città alta alla città bassa in 1872. Si modernizza la città grazie al funicolare tra città alta, piazza del Mercato delle Scarpe, e bassa in 1887 e poi con l'illuminazione delle strade con l'elettricità in 1889.

Il primo piano regolatore della media e bassa città di Bergamo è creato in 1892.



Fig.1.9 - Pianta di Bergamo in 1896 [3]

L'abbattimento della cinta muraria costituita dalle 'muraie' in 1900 permette la liberazione dell'accessibilità a sud ed è sostituita con un fronte edilizio. Il nuovo confine fisico è allora la ferrovia. Ancora oggi la ferrovia rimane una frontiera che definisce il centro città di Bergamo rispetto alla periferia, paradossalmente al collegamento offerto da questo mezzo di trasporto.

Infatti, la stazione è situata all'estremità meridionale dall'antica strada ferdinandea, oggi alla fine del viale Papa Giovanni XXIII.

In 1906, per risolvere il problema della fiera, viene emesso un primo bando per un concorso nazionale, poi ribadito in 1907. Il secondo bando per la ridestinazione dell'area della fiera è vinto dall'arch. Marcello Piacentini e l'ing. Giuseppe Quaroni. I lavori corrispondenti si svolgono tra 1923 e 1931, con l'intervento anche di G. Muzio e L. Angelini. Origini del lavoro ottocentesche (da non dimenticare).

Il complesso delle case popolari della Malpensata, per fare entrare la città nell'era moderna, è completato in 1911. Bergamo viene collegata a Milano con un'autostrada in 1925. Continuando la modernizzazione della città, un piano di risanamento della città alta è progettato da L. Angelini in 1934 ed è messo in applicazione in 1935.



Fig.I.10 - Piano di risanamento della città alta, L Angelini [3]

Tav.I.1 - Sviluppo storico di Bergamo

e. Sviluppo ferroviario e Magazzini Generali di Bergamo

La stazione di Bergamo viene inaugurata il 12 ottobre 1857, con la messa in servizio del tronco ferroviario Treviglio – Bergamo – Coccaglio. Bergamo è allora sul collegamento ferroviario tra Milano e Venezia. In 1863, è attivata la linea per Lecco. In 1878, un tratto più diretto fra Treviglio e Rovato fa perdere importanza alla stazione di Bergamo, non essendo più sulla linea diretta Milano – Venezia. In 1889, Bergamo è collegata a Carnate, con il progetto di estendere la linea al di là verso ovest, ma questo rimane allo stato di progetto.

Verso l'area della stazione, vengono costruiti numerosi edifici industriali e opifici, tra cui il silos dei Magazzini Generali di Bergamo. Rispetto a quella zona, nelle mappe del catasto cessato di 1901, non ci sono ancora gli edifici dei Magazzini Generali. La strada che attraversa la zona studiata si chiamava allora "strada vecchia di Boccaleone", ed è già rappresentata sul primo catasto di Bergamo, il Lombardo-Veneto del 1853.

Prima di essere zona industriale, nel catasto si trova la descrizione delle aree come "seminativo arborato iriguo", probabilmente aree piantate di gelsi e destinate all'allevamento di bachi di seta. La data di costruzione del complesso non è conosciuta, ma si ritrova nel registro catastale la traccia delle prime tasse pagate dai Magazzini Generali di Bergamo in 1933. Si può ipotizzare una costruzione progressiva dell'insieme degli edifici presenti in zona, da 1933 a 1941, secondo le date di variazione di carico della zona.

In seguito, quando l'uso degli edifici perde senso, con la modernizzazione dello stoccaggio di prodotti agricoli e l'apparizione di modi di trasporto più veloci rispetto al treno, l'area viene usata dalla Dogana di Bergamo, grazie alla sua ottima collocazione in vicinanza con la stazione. Attualmente, la maggior parte degli edifici sono dismessi, e servono di luogo di stoccaggio per qualche materiale dell'UBI Banca, proprietario dell'intera area oggi.

Tav.I.2 - Sviluppo storico e catastale della zona degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo

B. Contesto morfologico

a. Ubiquazione dell'area

Gli Ex-Magazzini Generali di Bergamo si collocano nella parte sud-est della città di Bergamo, capoluogo della provincia dello stesso nome, a nord-est nella regione Lombardia.

L'area di studio è delimitata a sud dalla ferrovia (linea Bergamo – Brescia), e a est dalla circonvallazione delle Valli. La parte nord dell'area viene a contatto con un'area residenziale e terziaria. La via Pietro Rovelli attraversa la zona in mezzo, dal nord-ovest al sud-est, creando due parti distinte. A ovest, due vie delimitano l'area : via Alfredo Piatti per la metà sud, e via Luigi Pelandi per quella nord.

Verso il nord, si trova la via Borgo Palazzo, strada storica che iniziava il collegamento tra Bergamo e Venezia, all'epoca del dominio della Serenissima. Oggi rimane un'asse molto frequentato e congestionato dal punto di vista del traffico. Questa via si incrocia anche con il tracciato dell'antica ferrovia delle Valli, tracciato mantenuto oggi con la circolazione di una tramvia, modo di trasporto molto apprezzato dai cittadini.



Fig.I.11 - Mappa e area di studio, Bergamo, Google Earth

b. Topografia (Edificato, Boschi, Laghi/Fiumi)

La città presenta sostanzialmente un grande polmone verde, il Parco Regionale dei Colli, a nord-ovest della città alta e del territorio del comune. All'interno del tessuto urbano sono presenti alcuni "punti verdi" pubblici, che danno un minimo respiro alla città. Numerosi giardini privati contribuiscono a quest'aerazione di Bergamo.

Intorno all'area di progetto ci sono molti spazi verdi, che tuttavia sono lasciati a coltura o abbandonati, d'uso sostanzialmente privato.

Bergamo è attraversata dal torrente Morla, adesso scorrendo in maggior parte sotterraneamente.

Tav.I.3 - Ambito ecologico e topografia

c. Tessuto urbano

L'area degli Ex-Magazzini di Bergamo è integrata nel tessuto urbano. Presenta una densità abbastanza simile rispetto a quella circostante : caratterizzata localmente di una corte interiore con edifici sul bordi delle vie. Si evidenzia una densità più elevata al nord-ovest dell'area, caratteristica di aree sviluppate anteriormente. Intorno alla zona, la ferrovia, i campi e le zone pubbliche sportive creano vuoti, e contribuiscono a sottolineare l'importanza volumetrica dell'area di studio.

Analizzando la tipologia degli edifici anche con la loro altezza, si può notare che la maggior parte dei piccoli edifici in pianta e superficie sono generalmente alti di due piani al massimo. Al contrario, alcuni edifici o complessi più grandi raggiungono sei o sette piani in alcuni casi. L'area di progetto essendo talmente aperta sul lato sud-ovest, grazie alla presenza della ferrovia, il potenziale di sfruttamento dell'energia solare e delle viste rimane intero.

Tav.I.4 - Pieni/Vuoti



Fig.I.12 - Area di studio, Apertura a sud e ovest visibile, Google Earth

c. Contesto funzionale

a. Funzioni residenziali

La zona degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo si inserisce nella periferia di Bergamo, in un contesto funzionale maggiormente residenziale. Si distinguono a prossimità, verso est e nord, alcune zone di torri residenziali e alloggi sociali, che concentrano la popolazione su una zona poco estesa. Invece, su entrambi i lati della via Pietro Rovelli quasi non ci sono che isolati residenziali tradizionali a bassa altezza.

Tav.I.5 - Funzioni residenziali

b. Funzioni di servizi & produzione

Il territorio bergamasco è abbastanza omogeneo rispetto alla distribuzione dei servizi. Si nota la differenza tra le superfici secondo la loro collocazione. Infatti, la zona e il tipo di tessuto urbano in cui sono posizionati sono all'origine della superficie del servizio. In città alta, la maglia storica fitta non permette la collocazione di servizi estesi. Già in città bassa, ci sono interi isolati che ospitano la funzione di servizio e il Comune è al centro di una zona pubblica importante. Poi, passando in periferia, verso la stazione ed oltre, abbiamo un raggruppamento di istituti scolastici, una zona di servizi medicali con l'ospedale, e a sud-ovest una zona densa in industrie.

Gli Ex-Magazzini Generali sono in vicinanza con una grande varietà di servizi a vocazione sovralocale, ma anche con numerosi campi sportivi.

Tav.I.6 - Funzioni di servizi e produzione

c. Paragone tra le due categorie di funzione

Associando entrambi i tipi di funzioni, residenziali e di servizi, appare evidente la vocazione residenziale della vicinanza degli Ex-Magazzini Generali.

Tav.I.7 - Residenze/Servizi

D. Accessibilità e Mobilità

a. Accessibilità

La zona degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo si trova all'incontro fra due assi urbani importanti, la linea ferroviaria Bergamo-Brescia e la circonvallazione delle Valli. Grazie alla prossimità con questi assi e i punti associati di scarico del traffico, la zona è ben collegata con l'insieme delle infrastrutture di trasporto, sia ferroviaria che autostradale e stradale. Bergamo è collegata con i capoluoghi di province e regioni circostanti grazie a una rete autostradale molto sviluppata. L'aeroporto di Orio al Serio-Bergamo permette alla città un collegamento internazionale con la maggior parte delle capitali d'Europa.

Tav.I.8 - Accessibilità scala provinciale e urbana

b. Mobilità pubblica

L'area si trova a circa 20 minuti a piedi della stazione di treni, tramvia e bus. Diverse fermate di linee di bus e tramvia nella vicinanza (meno 10 minuti a piedi dagli Ex-Magazzini Generali alle fermate) collegano tutta la zona con il resto della città. La rete ciclabile esistente non permette adesso di raggiungere l'area solo con piste ciclabili, ma Bergamo dispone comunque di un sistema proprio di bike-sharing, per il noleggio delle biciclette fra punti fissi della città. Uno di questi si trova a circa 10 minuti a piedi dell'area.

Tav.I.9 - Mobilità Pubblica

c. Mobilità privata

La rete stradale di Bergamo è abbastanza regolare, con alcune zone meno collegate, per esempio la stazione ferroviaria. Nonostante questa maglia ordinata della rete stradale, ci sono diversi problemi di congestione e traffico. La quasi totalità delle strade della città bassa sono a senso unico, rallentando il flusso di macchine che entrano nella città, e l'attraversamento del centro ne risolve fastidioso. Nel futuro, l'obiettivo da raggiungere riguardo il traffico è una decongestione del centro grazie alla creazione d'itinerari più diretti fra i punti e assi di maggior interesse (ferrovia, aeroporto, confine della città, circonvallazione).

Tav.I.10 - Mobilità Privata

E. Dinamiche demografiche

I dati ISTAT dal censimento del 1° gennaio 2011 ci permettono di paragonare la ripartizione demografica di Bergamo rispetto a quella della provincia di Bergamo. Si può notare una similitudine fra la categoria dei 40-59 anni. Evidente anche il fatto che la popolazione di meno di 40 anni è meno rappresentata a Bergamo che nella provincia, e questa tendenza è invertita per la popolazione di più di 60 anni.

Secondo la stessa banca di dati ISTAT, a Bergamo l'indice di natalità è 8,4, quello di mortalità 10,9. Per la provincia, la situazione è invertita con un'indice di natalità di 10,7 e di 8,2 per l'indice di mortalità. Il paragone fra gli indici di natalità e mortalità di Bergamo e della sua provincia illustrano anche il fatto che Bergamo è meno giovane della media della provincia. Si può spiegare questa situazione con la maggior facilità per i giovani (giovane coppie e famiglie anche) di trovare un'alloggio nei dintorni della città invece che nel centro, per ragioni finanziarie e di disponibilità dello spazio. Esiste allora un'opportunità chiara per alloggi flessibili ed accessibili a tutti.

Bergamo :

Età (anni)	0 - 19	20 - 39	40 - 59	60 - 79	80 - 100 +	Totale
Popolazione (ab.)	21 131	27 375	35 234	26 713	9 118	119 551
Percentuale	17,7	22,9	29,5	22,3	7,6	100

Fig.I.13 - Tabella - Ripartizione statistica secondo l'età della popolazione di Bergamo

Provincia di Bergamo :

Età (anni)	0 - 19	20 - 39	40 - 59	60 - 79	80 - 100 +	Totale
Popolazione (ab.)	223 200	286 687	326 779	210 296	51 778	1 098 740
Percentuale	20,3	26,1	29,7	19,1	4,7	100

Fig.I.14 - Tabella - Ripartizione statistica secondo l'età della popolazione della Provincia di Bergamo

Repartizione demografica a Bergamo

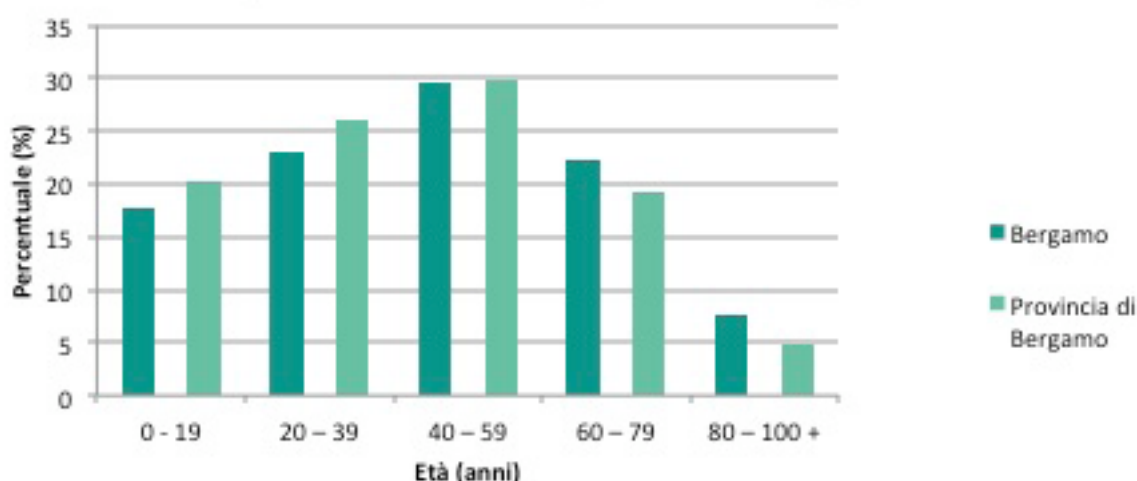


Fig.I.15 - Ripresentazione grafica del paragone della repartizione demografica a Bergamo e nella Provincia di Bergamo

F. Politica urbana

Per la città di Bergamo esiste un Piano Governatore del Territorio, dove la nostra zona di studio e d'intervento è analizzata, facendo parte di un ambiente strategico definito nel Piano Governatore del Territorio, cioè il nuovo centro intermodale di Porta Sud. Questo ambiente ingloba l'intera zona a sud della ferrovia e sono definiti gli interventi previsti con delle caratteristiche da implementare o incrementare.

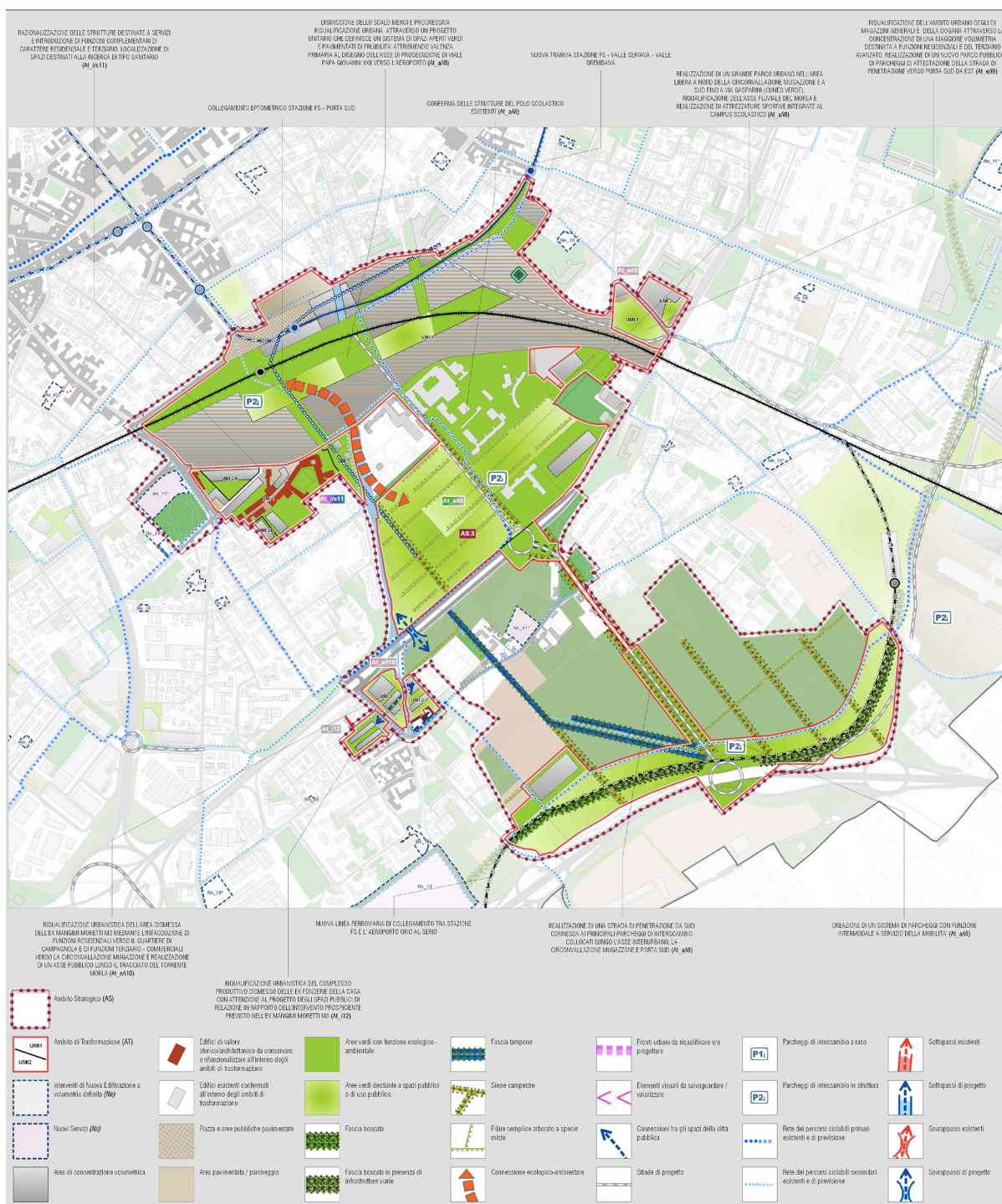


Fig.I.16 - Estratto del Piano Governatore del Territorio di Bergamo, Ambito Strategico di Porta Sud

Gli obiettivi da raggiungere per l'intera zona dell'ambiente strategico di Porta Sud sono i seguenti :

- 1) Realizzazione del terzo centro cittadino riqualificando e trasformando alcuni importanti ambiti della città e rafforzando l'asse dei quattro centri territoriali : Città Alta, il centro piacentiniano con il sentierone, il nuovo centro intermodale, e l'aeroporto di Orio al Serio.
- 2) Progressivo sviluppo della rete di trasporto su ferro in modo da conferire all'ambito il ruolo di fulcro e nodo di attestamento di tutta una serie di collegamenti ferroviari e tranviari di livello urbano, provinciale e regionale destinati a rispondere in modo concreto ed efficiente alle esigenze di una mobilità sostenibile e realizzare un centro di interscambio.
- 3) Dismissione dello scalo merci e suo spostamento
- 4) Progressivo avvio delle azioni di recupero urbano delle aree dismesse circostanti allo scalo ferroviario attraverso un progetto urbanistico, infrastrutturale, economico e finanziario dettagliato e articolato in base ad un programma temporale certo.
- 5) Realizzazione del grande progetto ambientale del PGT con la costruzione di un sistema articolato di spazi verdi che costituiscono il tassello centrale della "cintura verde" che dovrà diventare elemento centrale del disegno delle spazio pubblico.

Per la zona degli Ex-Magazzini Generali, una serie di obiettivi in concordanza con gli obiettivi dell'ambiente strategico di Porta Sud sono determinati :

- 1) Riqualificazione dell'ambito urbano parzialmente dismesso (Ex-Magazzini Generali e Dogana), e rigenerazione urbana.
- 2) Ottimizzazione dell'uso del suolo attraverso la compattazione delle aree edificabili e miglioramento del rapporto di copertura esistente sull'area attraverso l'incremento della superficie permeabile.
- 3) Ottimizzazione degli spazi attraverso una maggiore concentrazione volumetrica e articolazione dell'offerta funzionale mediante l'insediamento di funzioni legate al settore del terziario avanzato e della residenza.
- 4) Miglioramento delle viabilità di penetrazione da est verso Porta Sud ed il nuovo centro cittadino.
- 5) Incremento della quota di attrezzature pubbliche e di uso pubblico attraverso la realizzazione di un nuovo parco urbano e parcheggio di attestazione delle penetranti da est.



Fig.I.17 - Estratto del Piano Governatore di Bergamo, Area degli Ex-Magazzini Generali

Queste linee-guida per la nostra progettazione risultano dall'analisi del territorio effettuata dal servizio urbanistico del Comune di Bergamo. Nel Piano dei Servizi di Bergamo, i diversi ambiti territoriali sono stati esaminati su una serie di criteri, con l'attribuzione di una classificazione secondo la necessità d'intervento per ogni criterio rispetto ad ogni ambito territoriale.

I criteri sono i seguenti :

- 1 : Istruzione di base
- 2 : Istruzione superiore ed università
- 3 : Servizi sociali (in particolare servizi per l'aggregazione dei giovani e per il disagio sociale)
- 4 : Servizi sanitari
- 5 : Servizi istituzionali e religiosi
- 6 : Cultura, sport e tempo libero
- 7 : Verde
- 8 : Accessibilità

Nel documento riassuntivo di analisi nel Piano dei Servizi, per ogni ambito territoriale, che corrisponde ai quartieri, sono stati notati i criteri con colori in gradazione. Il rosso significa una priorità per interventi di nuovi servizi e/o azioni consistenti di miglioramento, l'arancio significa una priorità per interventi di azioni estese di miglioramento, il giallo significa eventuali azioni di miglioramento, e verde vuol dire che nessuna priorità di intervento è stata evidenziata per questo criterio.

Per l'ambito territoriale che ci interessa, Borgo Palazzo, ci sono due priorità forti d'intervento, rispetto ai servizi sociali (ed in particolare servizi per l'aggregazione dei giovani e per il disagio sociale) e rispetto al verde. L'accessibilità necessita interventi con azioni estese di miglioramento. I servizi sociale ed il verde sono anche le due priorità in generale per la città di Bergamo.

Paragonando l'ambito territoriale di Borgo Palazzo con gli ambiti circostanti, si osserva che l'ambito territoriale di Santa Caterina è in una situazione quasi identica. Poi, il Centro, la Malpensata, Carnovali, San Tommaso, Santa Lucia, Valverde e Valtesse sono in situazioni simili, e questo fatto si spiega con il fatto che appartengono alla periferia vicina di Bergamo. Invece, per gli ambiti territoriali più lontani dal centro, come Boccaleone, Celadina e Redona, la situazione è diversa, ma necessita anche nuovi servizi sociali. Si nota anche una mancanza di servizi nella città alta, ma soprattutto viene evidente il problema dell'accessibilità di questo ambito territoriale.

In conclusione, grazie alla disponibilità dello spazio sull'area degli Ex-Magazzini di Bergamo, sarebbe possibile rispettare il Piano dei Servizi e lavorare sui criteri del verde e dei servizi sociali.

G. Analisi climatica

I dati raccolti sulle tre ultime decenie provengono dalla stazione meteorologica di Orio al Serio. Bergamo è situata in una zona climatica temperata di medie latitudine (Cfa), significando che è un clima temperato senza stagione secca con un estate dove la temperatura media è superiori a 22°C.

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Totale
T max media	6,8	8,6	13	16,4	21,4	25,3	28,3	27,8	23,4	17,6	11,1	7,2	
T media	2,5	4,2	8,6	12,1	16,9	21	23,6	23,1	18,8	13,4	7,3	3,3	
T min media	-1,1	0,1	3,3	6,3	11	14,5	17,3	17,3	13,8	9	3,4	-0,3	
T max assoluta	20,3	22,7	25,3	25,2	30,4	34,2	39	36,2	30,9	29	19,3	17,7	
T min assoluta	-15	-12	-7,6	-3,6	1,7	5	10,5	8,7	5,1	-1,7	-7	-9,2	
Precipitazioni medie (mm)	66,1	54	71,5	87,4	123	121	91,9	100	114	122	87,5	64,4	1102,6
Umidità relativa (%)	75	71	67	69	68	68	68	68	70	75	77	78	

Fig.I.18 - Tabella - Dati climatici mensili, stazione meteorologica di Orio al Serio

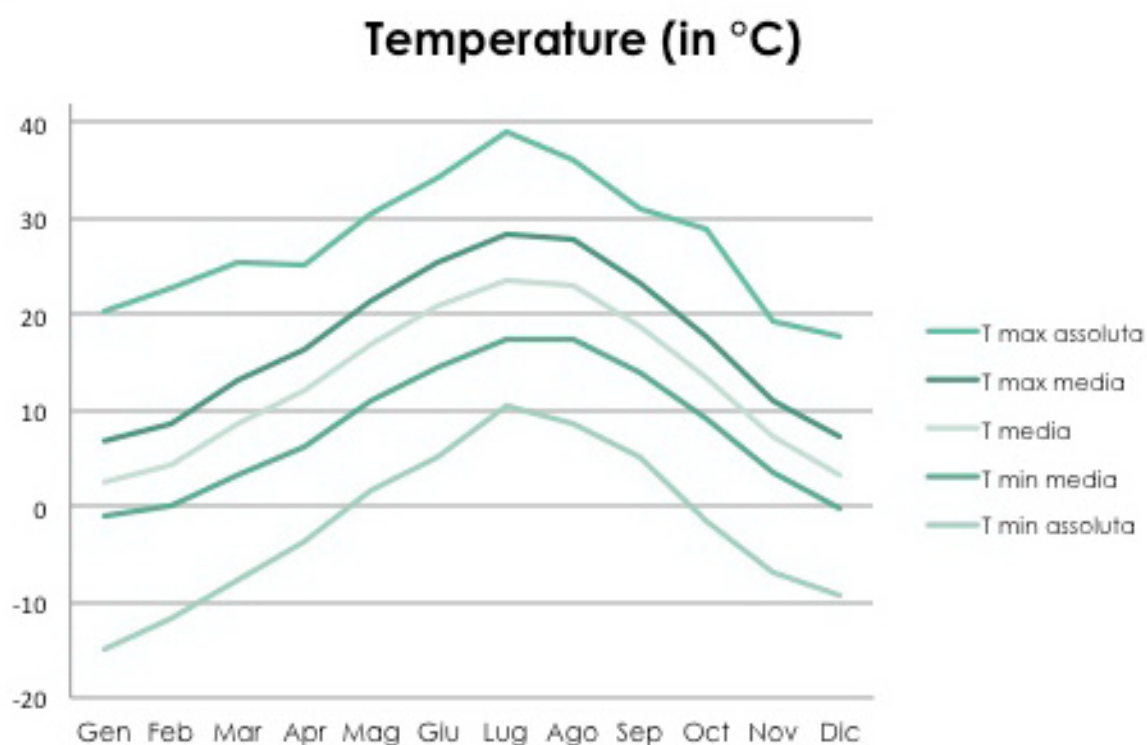


Fig.I.19 - Evoluzione annuale delle temperature, stazione meteorologica di Orio al Serio

Considerando una temperatura di comfort estivo di 26°C, e come la temperatura massima media d'estate a Bergamo è di circa 28°C, è possibile considerare l'utilizzazione di un sistema passivo di raffreddamento per questa stagione. Le tecnologie di costruzione attuali permettono anche il funzionamento con fabbisogni energetici minimi d'inverno.

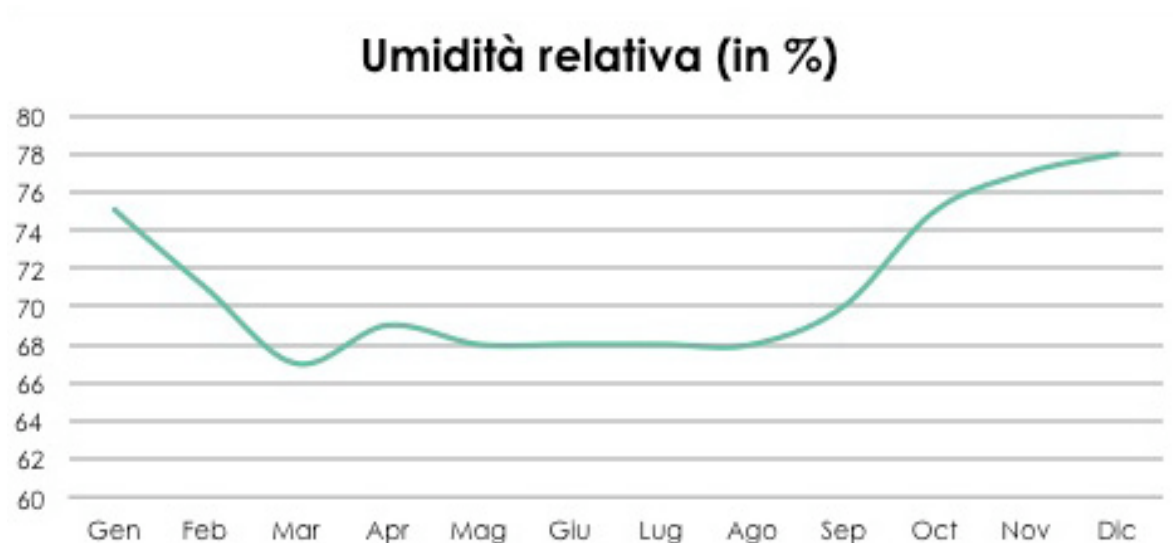


Fig.I.20 - Evoluzione annuale dell'umidità, stazione di Orio al Serio

L'umidità relativa essendo abbastanza alta, soprattutto d'inverno, un'attenzione particolare deve essere portata al benessere termo-igrometrico grazie ad impianti di controllo dell'umidità all'interno degli edifici.

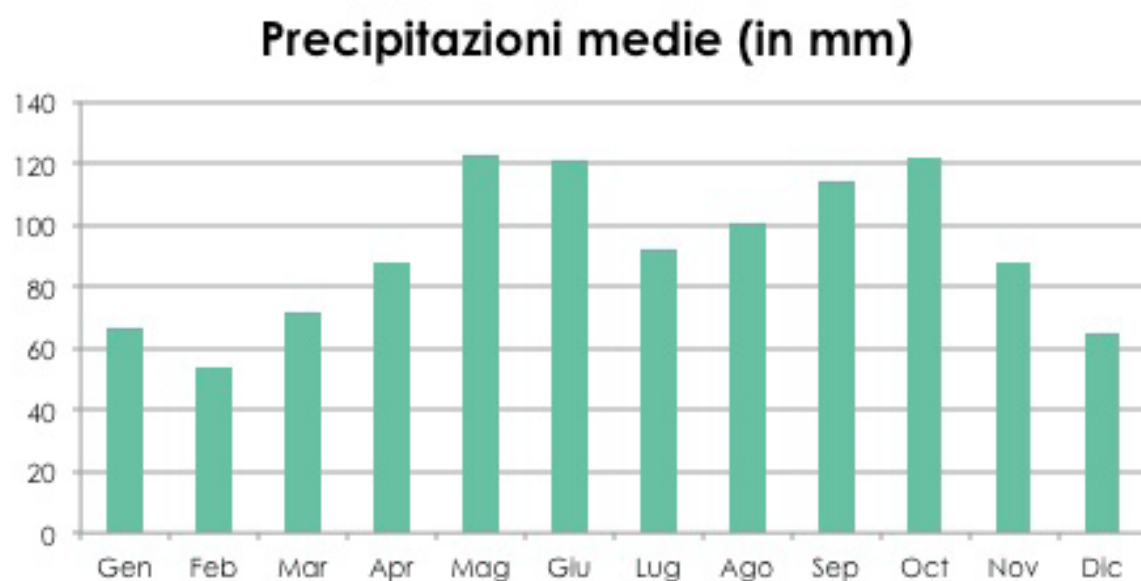


Fig.I.21 - Evoluzione annuale delle precipitazioni, stazione meteorologica di Orio al Serio

Le precipitazioni alte richiedono una gestione attenta delle acque piovane durante l'anno intero, permettendone il recupero.

Verso Bergamo, i venti dominanti sono orientati a sud-ovest la maggior parte del tempo, eccetto a novembre e dicembre, dove i venti dominanti sono orientati a nord. La velocità è più importante durante la primavera e l'estate.

Fonte : www.windfinder.com

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media ann.
Direzione del vento principale	SO	SO	SO	SO	SO	S	S	SSO	SSO	SO	N	N	SO
Probabilità d'un vento >=4 Beaufort (%)	2	3	7	5	6	4	4	2	2	2	2	2	3
Velocità dei venti (Nodi)	4	5	5	5	6	6	6	5	4	4	4	4	4

Fig.I.22 - Tabella - Dati mensili sulla direzione del vento principale e le sue caratteristiche, stazione meteorologica di Orio al Serio

Direzione	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
%	8	4	2	1	2	5	7	7	10	11	13	8	7	3	2	2

Fig.I.23 - Tabella - Distribuzione annuale dei venti secondo la loro direzione, stazione meteorologica di Orio al Serio

Distribuzione annuale dei venti - Bergamo



Fig.I.24 - Distribuzione annuale dei venti, stazione meteorologica di Orio al Serio

La quantità di radiazioni solari ricevute è abbastanza importante per considerare un sistema di valorizzazione di quest'energia.

Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media ann.	Totale ann.
Durata media del giorno (ore)	9,3	10,5	12	13,6	15	15,8	15,4	14,2	12,7	11,1	9,6	8,9	12,3	148,1
Radiazione solare giornaliera media mensile (Wh/m²)	1523	2380	3703	4711	5543	6171	6213	5276	4000	2646	1668	1200	3753	45034

Fig.I.25 - Tabella - Medie mensile di durata del giorno e radiazione solare, stazione meteorologica di Orio al Serio

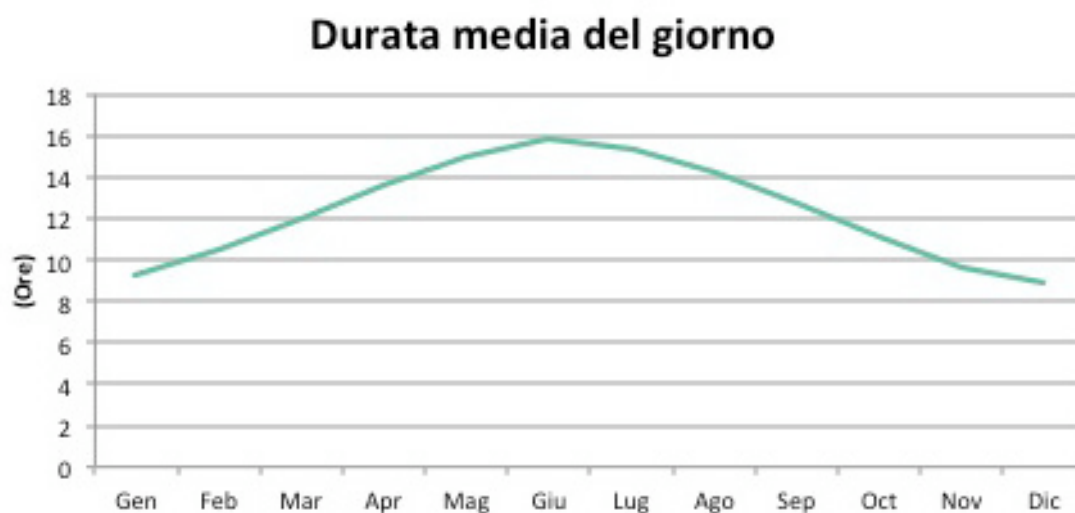


Fig.I.26 - Evoluzione annuale della durata media del giorno, stazione meteorologica di Orio al Serio

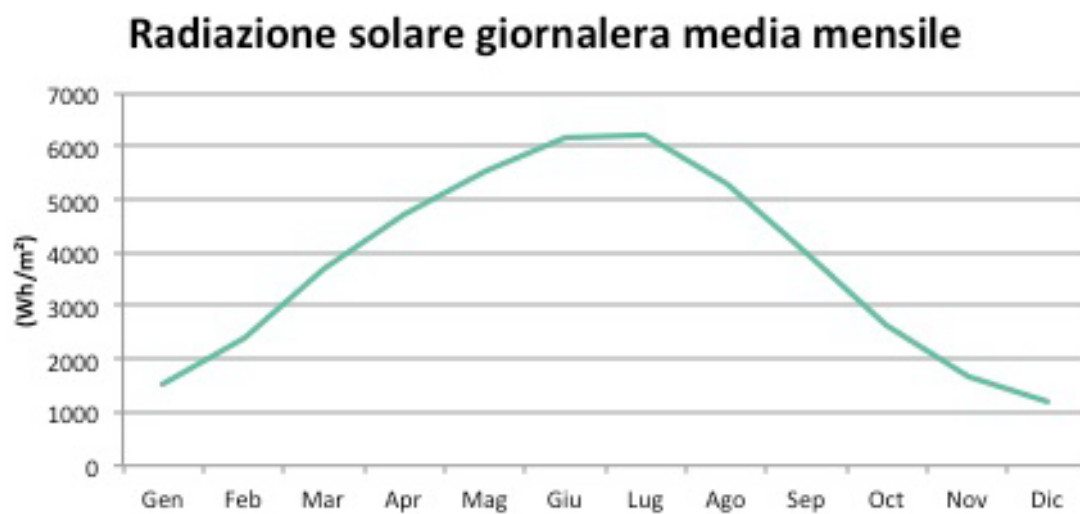


Fig.I.27 - Evoluzione annuale della durata media della giorno, stazione meteorologica di Orio al Serio

H. Analisi FDOM

In conclusione, ecco l'analisi delle forze e opportunità legate al sito, così come le debolezze e le minacce esistenti.

FORZE	DEBOLEZZE
*Presenza del Silos, edificio con una valenza storica ed architettonica, e una buona visibilità sui lati sud e ovest	*Mancanza di servizi commerciali di vicino
*Buona accessibilità con la vicinanza della stazione, della rete di trasporti pubblici, e della circonvallazione	*Mancanza di servizi sociali, soprattutto per l'aggregazione dei giovani e per il disagio sociale
*Presenza di servizi scolastici e sportivi	*Vicinanza con la ferrovia e la circonvallazione che sono fonti importanti di inquinamento rumoroso e aereo, e di chiusura dell'area
*Grande diversità di attività e materiali edilizi nella regione	*Mancanza di accessibilità ciclabile e pedonale
	*Forti precipitazioni e umidità relativa; venti freddi d'inverno, da nord
	*Mancanza di aree verdi nella zona
OPPORTUNITÀ	MINACCE
*Grandi dimensioni dell'area e potenziale sviluppo costruttivo, con implementazione di servizi per la zona	*Rischio di uno sviluppo troppo residenziale con la creazione di un "quartiere dormitorio"
*Previsione PGT per lo sviluppo dell'area (ambito strategico di Porta Sud, nuova strada & collegamento, parco verde, residenze)	*Rischio di uno sviluppo incoerente con i dintorni, che sono già vari e non uniformi fra di loro
*Altezza e buono stato dell'edificio del Silos, sfruttamento delle viste	*Rischio di aumento del traffico globale e quindi dell'inquinamento
*Radiazioni solari, potenziale solare, e temperature non eccessive per uso neutro o passivo delle costruzioni	
*Presenza di vento, possibilità di ventilazione naturale o semi-naturale	
*Strada attraverso il lotto, come legame, prevista per accogliere la mobilità "dolce" a est della stazione	

Tav.I.11 - Analisi FDOM

2. INQUADRAMENTO DEL SOGGETTO

A. Progettare localmente

Con l'insieme degli elementi raccolti nell'analisi anteriore, appare evidente la progettazione detta "locale" come soluzione per arrivare ad un progetto che sfrutta l'insieme delle forze e opportunità presente intorno e nel sito.

Progettare localmente è una maniera di sviluppare un progetto architettonico tenendo conto del contesto in tutti i modi possibili, con un obiettivo di un'adeguazione massimale ed ottimale dell'edificio o del complesso alla sua collocazione. Quest'obiettivo è essenziale per la progettazione e costruzione di edifici con buone prestazioni, sostenibili, che sono durabili e integrati nel loro contesto, e soprattutto che sono unici e validi per la loro collocazione.

a. Sostenibilità

Dal punto di vista dell'efficienza energetica di un edificio, lo studio dalle condizioni climatiche a quelle è sottomesso l'edificio è primordiale. L'efficienza energetica è una ragione evidente per il risparmio finanziario del proprietario, ma anche per il comfort dell'utente. Conoscendo le caratteristiche climatiche di un luogo, si può definire un'orientazione per un edificio e un ratio di apertura delle facciate adeguato alla loro orientazione. Così, il bilancio energetico è ottimizzato e l'edificio ha la possibilità di funzionare con minime spese energetiche, entrando nel concetto di edificio sostenibile.

Oltre allo sfruttamento delle risorse climatiche, la progettazione locale offre la possibilità di considerare i materiali di costruzione come elementi tecnici da scegliere in base alle precipitazioni o alle temperature per proteggere al massimo l'edificio dall'invecchiamento. L'aumento della durata di vita è ottenuto grazie alla protezione massimale dell'edificio stesso rispetto alle condizioni climatiche è molto valorizzato perchè incrementa la sua sostenibilità.

Lo studio dei modi di costruire sia contemporaneamente che nella storia è una maniera di vedere esempi di costruzione locali che funzionano in adeguazione con il clima locale. Infatti, gli edifici con le migliori prestazioni energetiche ed il comfort massimo sono in generale quelli che sono ancora validi e adatti al clima, quando gli edifici non o meno adatti sono in generale spariti.

Per raggiungere una sostenibilità massimale dell'edificio, oltre all'adeguazione con il clima, ci sono altri campi possibili di azione. Rispetto alla fase di costruzione dell'edificio e non più alla fase di uso dell'edificio, la progettazione locale implica di utilizzare delle risorse materiali locali, nel caso in cui è possibile. Infatti, i materiali di costruzione costano tempo e denaro a produrre e spostare. L'uso di materiali locali permette il sostegno dell'economia locale e la creazione di una filiale per il materiale corrispondente. Inoltre, l'energia spesa per il trasporto del materiale fino al luogo di costruzione è fortemente ridotta. Entrambi questi meccanismi sono fattori di incremento della sostenibilità dell'edificio e agiscono sugli aspetti economici, sociali ed ecologici della costruzione come del contesto.

La sostenibilità ingloba anche l'attenzione al futuro utente e al suo comfort, progettando un edificio per un essere umano nel suo ambiente, incrementandone la sua qualità di luogo di vita.

b. Caratteri dell'architettura residenziale a Bergamo

Progettare un edificio a Bergamo necessita l'analisi storica dello sviluppo urbano della città, ma anche più in dettaglio l'analisi dell'esistente rispetto al tipo di edificio progettato. In questo caso, è necessario studiare i caratteri dell'architettura residenziale della città di Bergamo per poter integrare il nuovo edificio nell'insieme del suo quartiere e della città in generale. Capire gli esempi virtuosi o fallibili del passato è inoltre uno strumento molto utile prima di cominciare a progettare un nuovo edificio. La progettazione locale mantiene così la sua logica, grazie alla presa in considerazione del contesto sia in generale che nei suoi particolari.

Il primo esempio analizzato è la Casa Traversi progettata nel 1930 da Giuseppe Pizzigoni a Bergamo, via Borgo Palazzo. È un edificio di cinque piani, con il piano terra destinato a funzioni commerciali, e sopra due appartamenti simmetrici per piano. L'edificio si attraversa in mezzo per arrivare nella corte dove c'è una scala che porta a un ballatoio ad ogni piano. Sul fronte stradale la facciata è simmetrica con ornamenti semplici, una sorta di ritorno al classicismo, al purismo. Il fronte interno è organizzato secondo l'impianto tipologico, con l'accesso agli appartamenti. Dentro, la zona giorno è verso la strada, e invece zona notte e cucina verso il cortile interno. I servizi igienici sono in mezzo all'edificio, illuminati con un piccolo cavedio.



Fig. I.28 - Casa Traversi, G. Pizzigoni; e Edificio via S. Bernardino, S. Invernizzi, Google Maps

Gli esempi costruiti negli anni settanta sono numerosi, e tra questi, un edificio per abitazioni progettato da Sergio Invernizzi in 1971 nel quartiere di borgo San Alessandro. L'edificio residenziale si inserisce nella morfologia del contesto, seguendo la curva della strada. L'integrità dell'edificio è raggiunta grazie a una struttura regolare in cemento armato a vista. La scomposizione dei tre elementi che formano il complesso sono la base, ovvero il piano terra con locali commerciali o di servizi, poi i piani superiori a funzione residenziale, e in cima i volumi tecnici di copertura. Nonostante la taglia degli appartamenti, i balconi orizzontali sul fronte stradale e tre corpi scale sul fronte interno permettono agli appartamenti di sfruttare un doppio affaccio. Questa tipologia riflette una separazione delle funzioni secondo i piani, e permette l'uso del piano copertura alla maniera della Cité radieuse di Le Corbusier, a Marseille.

Un'altro edificio per abitazioni, sul viale Vittorio Emanuele, antico tracciato ferdinando, è stato progettato da Sergio Crotti e Enrica Invernizzi nel 1974. Il progetto reinterpreta alcuni dei riferimenti locali intorno, tra cui la Città Alta e la linearità ed assialità della strada ferdinandea, senza mimetizzare stilisticamente questi punti di riferimento. L'edificio risponde in

forma all'impianto complesso, costituito da un corpo scale, e sette alloggi. Questi ultimi, con doppio affaccio oppure con doppio livello, formano comunque un fronte principale simmetrico che sembra una forma geometrica tagliata e staccata dal suolo. Il materiale usato è il cemento armato che accentua il carattere geometrico dell'edificio.



Fig.1.29 - Edificio Viale Vittorio Emanuele, S. Crotti, E. Invernizzi; e le «Terrazze Fiorite», G. Gambirasio, G. Zenoni, Google Maps

Ad una scala più grande, il complesso residenziale 'Terrazze Fiorite' è progettato in 1976 da Giuseppe Gambirasio e Giorgio Zenoni in una zona periferica a sud-ovest del centro città. Su circa 32 ettari, ci sono due grandi complessi digradanti composti di "case con una terrazza", e di alti blocchi parallelepipedi rettangolari per la circolazione verticale e da dove sono connessi gli accessi orizzontali alle "case". La forma generale dell'edificio permette di creare alloggi su doppi livelli dove è possibile, e di collocare i parcheggi nei buchi rimanenti, sotto gli alloggi. La forma a terrazza dell'edificio è tra i primi esempi di quest'epoca a Bergamo che richiamano in questo modo il contesto sia naturale delle montagne che storico della costruzione sulle pendici delle colline di Bergamo.

Vicino a questo progetto ma più recentemente, è stato riorganizzato il complesso delle ex-officine Zopfi in un complesso residenziale chiamato "Il Triangolo". Progettato da un gruppo di tanti architetti fra gli anni 1989 e 1990, l'edificato riprende la forma triangolare del lotto formando al suo centro un giardino semi-privato, riprendendo la funzione degli orti "extra moenia" esistenti per l'opificio. Da questa grande opera di riconversione dell'area industriale nel centro cittadino nasce un nuovo nodo urbano. La forma policentrica del triangolo equilaterale è quindi valida alla scala urbana oltre alla scala di quartiere, sottolineando l'unicità del luogo. Delle funzioni diverse sono collocate nel complesso, seguendo lo schema classico del piano terra destinato a locali commerciali, e alloggi nei piani superiori. La scala dell'edificio di sette piani impone un frazionamento del complesso, lasciando così delle aperture che permettono di raggiungere il parco interno e di attraversarlo.



*Fig.I.30 - «Il Triangolo», G. Gambirasio, G. Mandelli, C. Poli, P. Traversi, A. Trevian, C. Villa, G. Zenoni,
Google Maps*

L'elenco ottenuto con lo studio di questi edifici è un vero catalogo di architetture locali integrate nel loro ambiente, spesso questi esempi non sono perfetti ma loro analisi permette di capire come si può progettare localmente nella città di Bergamo.

B. Progettare l'isolato : Il tema della corte nella storia italiana e le sue interpretazioni internazionali e recenti

Analizzando la tipologia abitativa italiana e bergamasca, appare evidente la necessità di studiare il modello dell'isolato e più particolarmente dell'isolato con la corte interna.

Infatti, dal periodo romano, le abitazioni tipiche sono organizzate intorno a un'atrio, che prende il ruolo di zona centrale connettendo le stanze laterali tra di loro. Questo luogo privilegiato di connessione diventa anche fonte di luce ed aria per le stanze aperte sull'atrio.

Il modello della corte è anche famoso nel periodo del Rinascimento, con la costruzione di numerosi palazzi nobili organizzati anch'essi intorno ad una corte. Rispetto alle case e ville dall'epoca romana, la scala cambia. Infatti grazie alle tecniche costruttive e allo sviluppo dello stile architettonico, i palazzi sono degli edifici con dimensioni notevoli. Su tre o quattro piani e con un rivestimento in pietra che dà un peso alla costruzione, questo tipo di edificio usa anche la corte interna per poter illuminare naturalmente l'insieme dell'edificio. La corte diventa un elemento architettonico che così permette l'aumento delle dimensioni del palazzo come isolato chiuso. Entrando in un palazzo di quest'epoca, la corte interna è la prima stanza subito dopo il corridio d'ingresso, così com'era organizzata la casa romana. La sua funzione di fulcro dell'edificio rimane incambiata, con una connessione diretta tra il cortile e le stanze del piano terra che erano spesso le stanze dove erano compiute le operazioni commerciali. Le stanze del piano nobile, ovvero il primo piano, sono connesse con il cortile in modo visivo, aumentando la centralità dell'edificio e permettendo di racchiudere ancora di più il palazzo rispetto all'esterno. Quest'organizzazione in piano del palazzo con un cortile nel suo centro è lo specchio dell'organizzazione spaziale della città medievale e rinascimentale, chiusa per la sua protezione e con piazze aperte per gli scambi e incontri quotidiani.

Con l'importanza del periodo rinascimentale in Italia, il tema della corte è stato interpretato numerose volte da quest'epoca. Offrendo uno spazio protetto ai suoi abitanti, un'edificio così organizzato architettonicamente è considerato oggi come uno dei modelli validi per costruire un'isolato. Inoltre, permette di ricreare il senso di città ad una scala più piccola e quindi di poter inserire l'isolato nel tessuto urbano.

L'isolato è un oggetto architettonico considerato come scala intermedia fra la città e l'edificio, permettendo così di essere l'elemento base della maglia del tessuto urbano in alcune città o in alcuni quartieri. Studiando la situazione in altri paesi, due esempi sono particolarmente adeguati per illustrare la progettazione dell'isolato e le possibili interpretazioni. Il primo esempio è quello di Parigi, con le trasformazioni urbanistiche del centro della città all'inizio della seconda metà del XIX secolo. Poi, nello stesso periodo, a Barcellona, viene creato un nuovo tipo d'isolato per poter riorganizzare la città con gli stessi obiettivi del prefetto della Seine, Haussmann a Parigi : favorire la circolazione urbana, assanire la città e renderla adeguata ai nuovi modi moderni.

A Parigi, la città era un insieme di strade poco larghe, poco sane, ed è deciso allora di aprire attraverso l'intera città delle grandi strade, per aiutare alla circolazione dei nuovi veicoli, e per poter creare una rete d'impianti di risanamento e depurazione. La larghezza di queste grandi strade chiamate boulevards varia tra 20 e 30 metri. Il governo espropriò gli abitanti in queste zone riqualificate per far costruire dopo degli nuovi edifici. Questi edifici devono rispondere a una serie di caratteristiche ben definite, che danno alle nuove strade un viso molto uniforme con il quale conosciamo e ci rappresentiamo Parigi ancora oggi.

Con la creazione dei boulevards e dei nuovi edifici, risulta nell'apparizione di un tipo di isolati. Infatti, sono riconoscibili dalle loro facciate esterne simili come facendo parte di un insieme edilizio. Il stile delle facciate è raggiunto grazie a una serie di regole che definiscono un'altezza, l'organizzazione dei piani e dell'ornamento di quelli, a che piani ci sono dei balconi, e che tipo di rivestimento è accettabile. Il piano terra ospita il più spesso le funzioni commerciali, permettendo così la connessione diretta con la strada e i clienti, mentre i piani superiori sono appartamenti per diverse famiglie secondo la loro fortuna. Non avendo ancora ascensori, il primo piano è nobile, così come nei palazzi rinascimentali, e similmente anche l'ultimo piano è riservato ai domestici. I piani intermedi sono affittati a famiglie meno fortunate, e non possiedono balconi. L'isolato parigino è di conseguenza molto riconoscibile dal fuori.

Dentro invece, essendo più grande di un palazzo rinascimentale, ci sono cortili di varie superfici, separati da ali degli edifici sul bordo. L'orientazione dell'isolato non è più quella di prima, verso la corte protetta ma invece verso i grandi boulevards che sono una maggior fonte di luce, di vita, di spettacolo anche. La corte è infatti troppo protetta, a causa dell'altezza degli edifici circostanti. Ancora oggi, l'uso delle corti non è molto sviluppato a Parigi e questi spazi sono spesso in uno stato abbandonato alla natura. Però, la tendenza attuale sarebbe la riappropriazione degli spazi trascurati e dimenticati per i proprietari o gli abitanti, ovvero per esempio i tetti e questi cortili che sono spesso piccoli giardini. Nel futuro si può aspettarsi che ci sia una migliore valorizzazione di quelli cortili, dagli stessi abitanti che occupano l'edificio.



Fig.1.31 - Tessuto urbano di Parigi intorno a l'Arc de Triomphe et la Place de l'Etoile, Google Maps

Le trasformazioni urbane eseguite a Barcellona nella seconda metà del XIX secolo sono allo stesso tempo molto simili e molto diverse di quelle di Parigi. La similitudina è in maggior parte rispetto alle ragioni dell'intervento in generale, con una volontà di risanamento, d'igiene e di circolazione urbana fluida, però l'applicazione di questa volontà avviene in un modo diverso. Il vecchio centro di Barcellona rimane con il suo tracciato originale, mentre la periferia diretta che è oggi la parte più conosciuta dai turisti viene estesa e forma il quartiere dell'Eixample. Eixample in catalano significa ampliamento in italiano, ed il piano urbanistico è elaborato in 1859 dall'ingegnere Ildefons Cerdà.

Le strade sono ampie, con 20 metri di larghezza, disposte in una griglia quadrata rego-

lare. Gli isolati sono quindi quadrati di dimensione 113,3 metri per i lati, ma con gli angoli smussati. Questa forma octogonale particolare è molto riconoscibile in pianta, unica al mondo, e permette di creare una piazzetta aperta ad ogni angolo ed incrocio, come una respirazione. All'inizio, almeno un lato dell'isolato doveva essere libero di edificazione, per permettere così lo sfruttamento della parte centrale dell'isolato e la connessione tra gli isolati. Erano destinati 65% della superficie del lotto al verde, ma già alla fine del XIX secolo sono edificati 70% della superficie dell'isolato. Questo sistema prevedeva anche una densità di 250 abitanti all'ettaro, densità superata velocemente, con l'edificazione dei quattro lati ed alcune volte anche la corte interna.

Nel piano sono anche previste dei viali diagonali che creano al loro incrocio una piazza, e soprattutto della diversità, tagliando gli isolati quadrati. La morfologia dell'Eixample diventa così meno rigida. Anche la possibile aggregazione di alcuni isolati per accogliere delle attrezzature e dei servizi pubblici introduce variazioni nella maglia di base.

Rispetto allo stile architettonico degli isolati, la situazione è molto diversa da quella di Parigi grazie a un regolamento più libero. Inizialmente l'altezza degli edifici doveva essere limitata a 16 metri, poi passa a 24,4 metri. Non ci sono regole stilistiche precise come a Parigi, e questo permette una diversità architettonica molto importante, lasciando spazio a degli edifici notevoli come quelli costruiti da Antonio Gaudì. L'Eixample è ancora oggi un quartiere coerente, valido nella sua organizzazione, ricco di esempi vari di costruzioni di alta qualità e identificabile sia nel suo insieme che nel suo elemento base.



Fig.I.32 - Tessuto urbano di Barcellona, Google Maps

Dopo lo studio di questi modelli del XIX secolo, l'analisi di alcune interpretazioni recenti del tema dell'isolato ci mostra la validità attuale di questo elemento come frazione costruttiva della città. In particolare, il lavoro del gruppo BIG (Bjarke Ingels Group) con i loro progetti residenziali. Uno di questi progetti, 8-house, è molto interessante non solo per l'esito architettonico finale ma soprattutto per il processo di progettazione del complesso.

Il progetto 8-house è situato in Orenstad, un quartiere nella periferia di Copenhagen in Danimarca. L'area del progetto è di 61 000 metri quadrati, e quindi assimilabile a un intero quartiere. Il progetto prende la forma di una torre e di un edificio. Inizialmente, l'edificio si presenta come un isolato classico con quattro lati ed una corte interna. Però il processo progettuale parte dal fatto che con una superficie così grande, si devono offrire agli cittadini delle esperienze e sorprese, come in un centro città, come se l'edificio fosse una città per se. L'obiettivo diventa ricreare la varietà del centro storico di Copenhagen. Nel passato la varietà architettonica veniva delle facciate, affidate a diversi architetti, mentre un isolato era progettato di un solo architetto. Però quella diversità estetica oggi non ha tanto senso e invece di separare le funzioni dell'edificio in pianta, la scelta è la superposizione di queste per creare una variazione nella massa omogenea. Le funzioni commerciali e gli uffici hanno bisogno di larghi piani e zone interconnesse, preferibilmente con poco luce naturale forte (per i computer, per evitare l'abbagliamento dei clienti tenendo una vetrina aperta). Invece le zone residenziali preferiscono la luce, la vista sui dintorni e non direttamente su la strada, quindi le zone commerciali sono previste ai piani inferiori, con sopra le zone residenziali più private. Un'organizzazione così con la superposizione delle funzioni residenziali sopra delle altre ricorda l'organizzazione originale dei palazzi rinascimentali come quella degli edifici costruiti a Parigi durante la trasformazione urbana della città per Haussmann.



Fig.I.33 - 8-House, Björke Ingels Group, www.puntafinanews.com

Funzioni commerciali e uffici hanno piani più larghi degli edifici residenziali, permettendo quà di creare un cammino sopra delle prime, intorno a un piano di case-terrazze con lo spazio davanti per avere un giardino privato, ricordando i quartieri residenziali tradizionali di Copenhagen. Sopra il piano di case-terrazze, alcuni piani di appartamenti classici e poi un piano di appartamenti di tipo penthouse, anch'essi con una terrazza, e poi un tetto verde.

Anche la forma globale dell'edificio si addatta al contesto, formando un otto invece di uno zero. Infatti, la presenza di una strada che arriva in mezzo all'edificio induce questo cambio per facilitare l'attraversamento del complesso nel suo mezzo, creando anche due piazze. Al livello del nodo sono collocate l'insieme delle funzioni sociali e d'incontro, creando così un vero fulcro in mezzo al complesso. Con questo cambio appare una varietà di spazi aperti pubblici e privati : cortili e piazze si aggiungono al cammino dei piani superiori.

Approfitando dell'orientamento del lotto e conoscendo i bisogni dell'insieme delle funzioni, l'apparenza dell'edificio subisce un'altra distorsione. Non avendo bisogno di luce naturale, le zone commerciali e gli uffici spariscono del lato sud e sud ovest, mentre al nord si aumenta in altezza loro spazio, creando così una topologia in pendenza per la forma in otto. Quest'operazione di distorsione a anche come effetto di aumentare le viste e la quantità di

luce naturale ricevuta dalle zone residenziali, così come per le corti interne. Con i dislivelli così creati, il cammino precedentemente al primo piano diventa un percorso con scale e pendenze montagnose, e piazze in alto, ricco di esperienze sia per gli abitanti che per il pubblico. Il risultato ottenuto permette alla vita sociale di invadere le altezze, invece di rimanere al piano terra come spesso.

Questo esempio di isolato pensato come una piccola città riesce ad introdurre uno sfruttamento completo del complesso dagli abitanti e non solo da loro, grazie alla diversità delle funzioni e degli spazi architettonici, ed illustra benissimo l'isolato come elemento architettonico di una scala fra la città e l'edificio.

L'isolato come elemento base della città è una tipologia abitativa molto apprezzata se è bene progettato, che può avere un forte impatto sociale su un quartiere. Il suo successo attuale si basa nell'interpretazione di tipologie abitative anziane e l'inserimento giusto nel suo contesto, sia storico, naturale, urbano o sociale.

INDICE CAPITOLO II

CAPITOLO II. PROGETTO ARCHITETTONICO	45
1. PROGETTAZIONE URBANA	45
A. Sviluppo della rete viaria	45
B. Schema funzionale	50
C. Masterplan	52
a. <i>Riferimenti generali</i>	52
b. <i>Sviluppo del masterplan</i>	54
c. <i>Elaborati finali</i>	55
D. Elaborati grafici	55
2. PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA	56
A. Riferimenti	56
B. Sviluppo degli appartamenti	59
C. Progettazione delle zone di connessioni verticali e disposizione degli appartamenti	61
D. Elaborati grafici	62

CAPITOLO II. PROGETTO ARCHITETTONICO

1. PROGETTAZIONE URBANA

A. Sviluppo della rete viaria

Nel Piano di Governo del Territorio di Bergamo è previsto una riqualificazione della zona degli ex-Magazzini Generali sia al livello stradale che architettuale una nuova strada veloce passante al sud della zona per permettere un accesso più diretto al centro città e alla stazione.

Questa nuova strada cambia i dintorni della zona, impostando una rotonda sotto la circonvallazione e cambiando l'incrocio al livello del ponte sopra la ferrovia. Le macchine lasciano la priorità ai modi di circolazione dolce, le biciclette e i pedoni, su alcune strade esistenti. La circolazione dell'intera zona diventa più fluida, influenzando anche sul contesto meno immediato e permettendo di raggiungere, lasciare ed attraversare più velocemente il centro di Bergamo, verso e dal lato est dell'agglomerazione. Le macchine che prendevano prima la strada di Borgo Palazzo hanno adesso la possibilità di andare in centro grazie alla nuova strada veloce riservata a loro, via Silos.

A Bergamo, il PGT prevede anche la trasformazione di alcune strade con l'aggiunta di piste ciclabili. Per l'ambiente strategico di Porta Sud di cui la zona degli Ex-Magazzini fa parte, è prevista la creazione di una rete per la mobilità dolce con la costruzione di porzioni di piste ciclabili permettendo l'accesso al centro città dalle zone periferiche di Bergamo. La zona degli Ex-Magazzini essendo trasformata in parte in un grande parco a vocazione pubblica, l'accesso e l'attraversamento dalle biciclette sembra quindi un aspetto molto importante della trasformazione. Dentro e intorno alla zona degli Ex-Magazzini lo studio della mobilità esistente permette di proporre alcuni cambi in favore delle mobilità alternative alla mobilità automobilistica.

La rete di trasporti urbani di Bergamo essendo già bene sviluppata, rendendo la zona degli ex-magazzini accessibile in un raggio di cinque minuti di camminata dalle fermate più vicine, le proposte di miglioramento dell'accessibilità sono quindi da cercare verso la rete ciclabile e il comfort pedonale.

Per la via Pietro Rovelli che attraversa la zona degli Ex-Magazzini, è prevista la prevalenza dei pedoni, per poter riconnettere le due parti della zona. Nello stato esistente, due marciapiedi molto stretti tra il muro di bordo delle zone e la strada non permette un'esperienza piacevole per il pedone. Riqualificando la zona, è possibile di spostare o eliminare i muri di bordo. Nella proposta per la riqualificazione, la strada diventa meno larga per limitare la velocità delle macchine, ed è separata dalle nuove piste ciclabili da strisce vegetalizzate. I marciapiedi vengono allargati e separati dalle piste ciclabili da una linea di alberi.

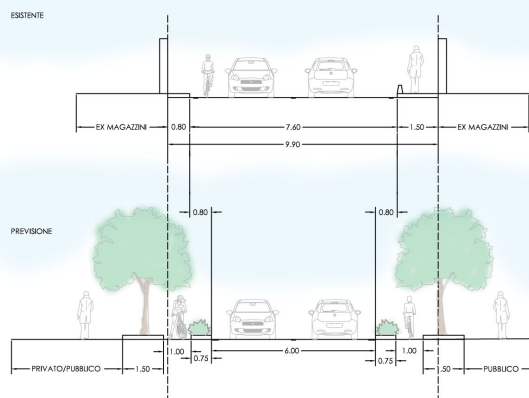


Fig.II.1 - Sezioni esistente e proposta, via Pietro Rovelli, dentro l'area - Sez. 10

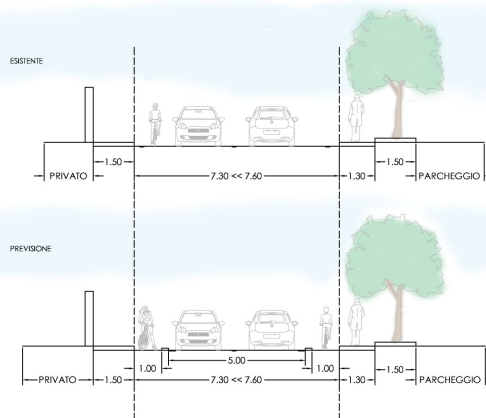


Fig.II.2 - Sezioni esistente e proposta, via Pietro Rovelli, parte ad est dell'area - Sez 12

Per la nuova via creata, via Silos, a sud della zona, la circolazione automobilistica è privilegiata, ma questa strada si può anche percorrere dai pedoni e cicli su un marciapiede condiviso e bene separato dalla strada veloce grazie a 1 metro di arbusti alti in larghezza. Così il pericolo della velocità delle automobili è evitato.

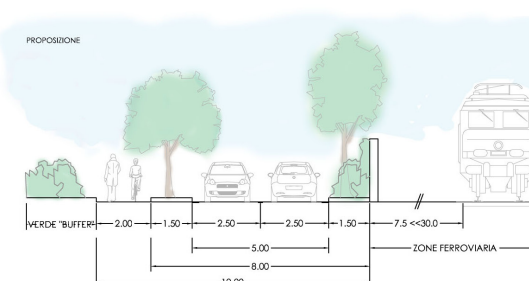


Fig.II.3 - Sezione proposta, via Silos, parte ad ovest dell'area - Sez 4

La via Nicolò Tommaseo, strada a senso unico che viene della stazione, è molto larga ma adesso non esiste nessun marciapiede o pista ciclabile. Strada privilegiata per il traffico pedonale o ciclabile per i turisti arrivando della stazione, il suo senso unico è conservato nella proposta di cambiamento, aggiungendo però una pista ciclabile a doppio senso separata dalla strada, e un marciapiede largo. Strategicamente, questa strada va a fianco di aree industriali dismesse come il vecchio scalo merci che sono destinate ad essere riqualificate anch'esse, probabilmente con una funzione pubblica o turistica, quindi la scelta di un percorso per i pedoni e i cicli è una scelta durabile.



Fig.II.4 - Sezioni esistente e proposta, via Nicolò Tommaseo - Sez 3

Le altre strade intorno, via Alfredo Piatti e via Luigi Pellondi, che danno accesso alla zona sono in uno stato esistente con una prevalenza automobilistica e con un marciapiede poco largo. Queste strade sono il percorso di accesso alla zona degli Ex-Magazzini dalle fermate della rete di trasporti urbani (bus, tramvia). Sono collegate tutte alla via Borgo Palazzo che è stata sistemata con una pista ciclabile a doppio senso sulla maggior parte del suo tracciato. Per un accesso facilitato pedonale e ciclabile, la proposta di trasformazione di queste strade lascia la prevalenza alle automobili, impostando anche una pista ciclabile separata su entrambi i lati della strada (nel caso del doppio senso) e due marciapiedi (nel caso esistente dove era presente solo uno).

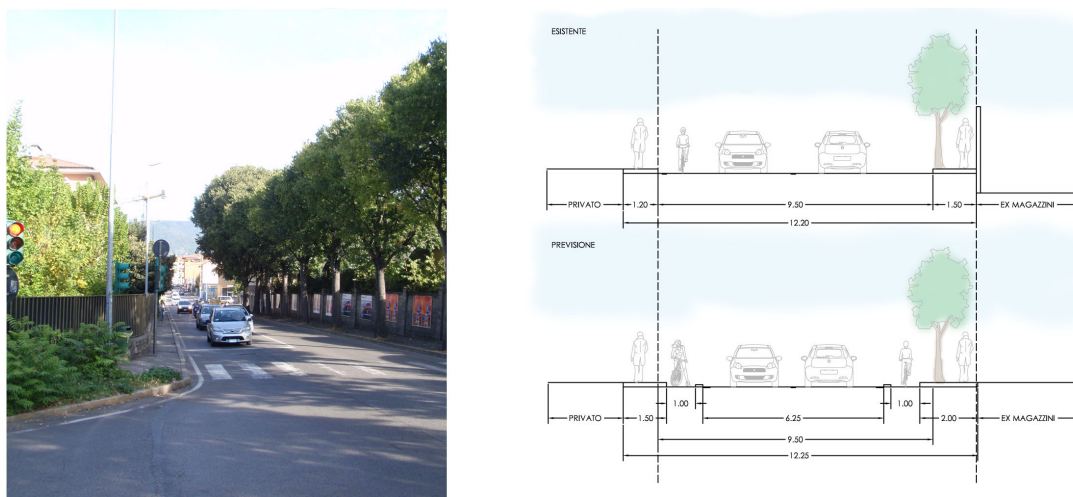


Fig.II.5 - Sezioni esistente e proposta, via Alfredo Piatti - Sez 6

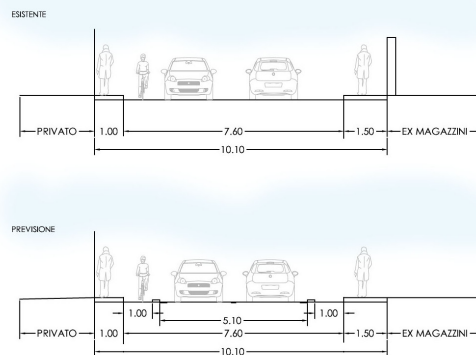


Fig.II.6 - Sezioni esistente e proposta, via Luigi Pellondi - Sez 9

Rispetto al ponte sopra la ferrovia, lo stato esistente non è accessibile ai pedoni, e non c'è una pista ciclabile. Una riqualificazione possibile per questo ponte è un allargamento, permettendo così di impostare due piste ciclabili, e un marciapiede molto largo separato dalla strada da un monticello di terra e vegetazione assumendo così il ruolo di luogo di passeggiata e dando un punto vista eccezionale sul complesso riqualificato degli Ex-Magazzini.

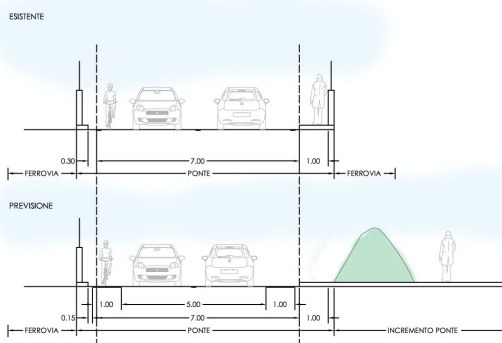


Fig.II.7 - Sezione esistente e proposta, ponte di via Alfredo Piatti - Sez 8

Dall'altro lato della ferrovia, la via Mauro Gavazzeni nel suo stato esistente ha un uso prevalentemente per le macchine con una doppia corsia al livello dal ponte, per poter girare, e quindi una velocità abbastanza alta. Non c'è uno spazio riservato alla mobilità ciclabile, e il marciapiede è largo ma in uno stato degradato. La proposta aggiunge una pista ciclabile da ogni lato della strada, e così il marciapiede viene più protetto.

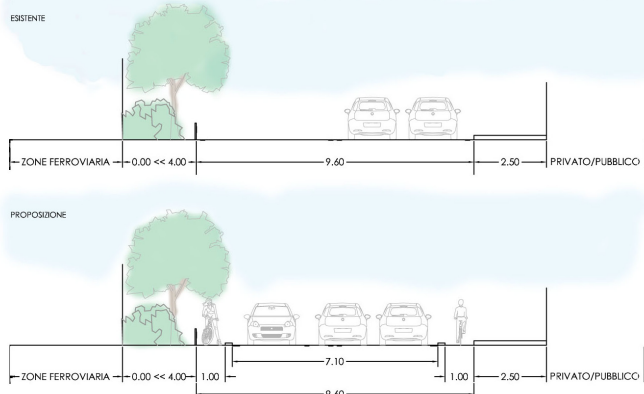


Fig.II.8 - Sezioni esistente e proposta, via Mauro Gavazzeni - Sez 5

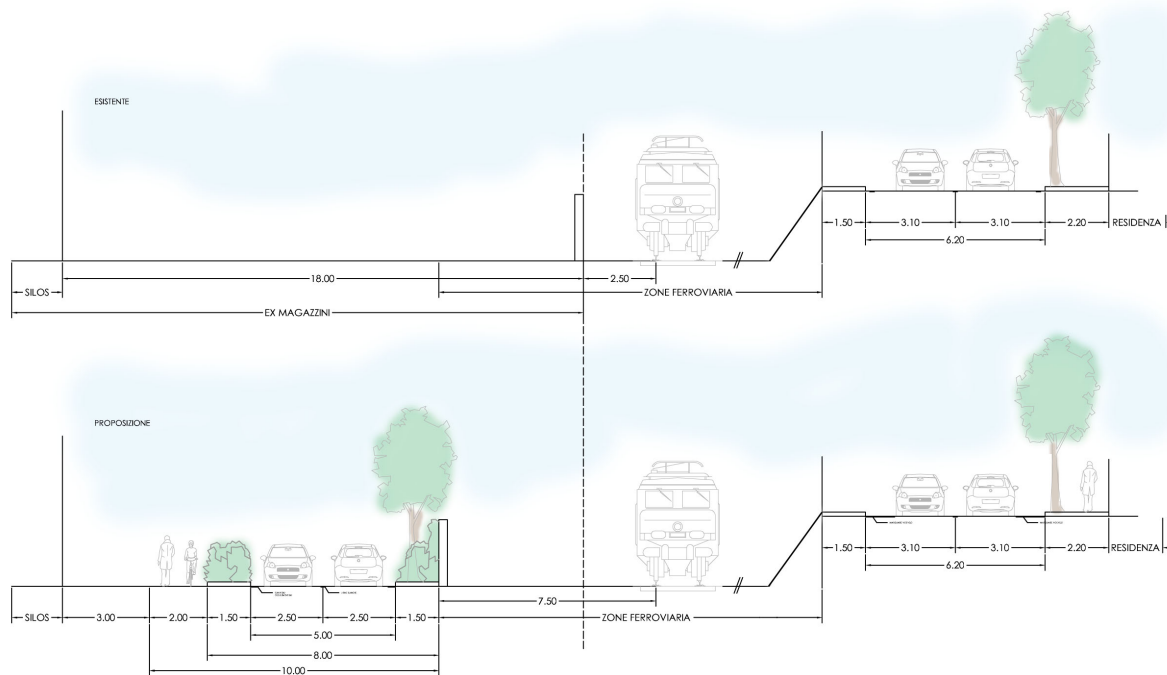


Fig.II.9 - Sezioni esistente e proposta, via Mauro Gavazzeni e Via Silos - Sez 11

L'insieme delle proposte permette una lettura più chiara della rete stradale, aumentando le connessioni tra il centro e la periferia sud e est della città di Bergamo. Gli accessi dai trasporti urbani ed extra-urbani sono rinforzati per i pedoni e i cicli così da favorire l'uso della zona pubblica riqualificata sull'area degli Ex-Magazzini.

Tav.II.1 - Sviluppo della rete viaria

B. Schema funzionale

Con una superficie totale di 27 196 metri quadrati, l'area degli EX-Magazzini Generali di Bergamo è un vero pezzo di città. Il Piano di Governo del Territorio di Bergamo ne prevede la riqualificazione, all'interno dell'ambiente strategico di porta sud, che ingloba l'area intera a sud della stazione di Bergamo, fino all'autostrada Milano-Brescia. Sono previsti nel PGT 13 900 metri quadrati di superficie lorda di pavimento per l'insieme delle due zone dell'area degli Ex-Magazzini.

Dopo dei lavori eseguiti anteriormente nei temi di recupero e restauro dell'area, un schema funzionale globale dell'area è stato scelto, in adeguazione con il PGT, ma con la volontà di preservare, restaurare e recuperare l'edificio principale degli EX-Magazzini, ovvero il Silos.

FUNZIONI	DESTINAZIONE D'USO	Zona 1			Zona 2		
		Slp max (%)	Slp max (mq)	Slp (mq)	Slp max (%)	Slp max (mq)	Slp (mq)
Residenza	Residenza libera/convenzionata				slp max : 80 slp min : 60	max : 8664 min : 6498	7000
	Residenza sociale						
	Residenza temporanea	10	307	0			
Terziarie	Terziario diffuso	slp max :	max :		25	2707,7	1500
	Artigianato di servizio	75 slp min :	2302,5 min :	2000			
	Terzario avanzato	60	1842				
	Pubblici esercizi	25	767,5	300			
Commerciali	Esercizio di vicinato	30	921	600	25	2707,5	1500
Servizi	Servizi pubblici e servizi privati di uso pubblico	sempre ammessi		170	sempre ammessi		

Fig.II.10 - Tabella - Funzioni da inserire nell'area, dal Piano Governatore del Territorio e le superficie corrispondenti ottimizzate

Il punto focale della zona diventa allora il silos granario, edificio costruito negli anni 30, oggi in uno stato dismesso. Con lo studio storico e architettonico dell'edificio si capisce come funzionava l'edificio nel passato. Dopo questo lavoro di ricostruzione grazie ai macchinari ancora presenti nell'edificio, si può ipotizzare un uso dello spazio interno per esporre questi risultati, molto interessanti rispetto alla storia agricola, architettonica, e industriale di Bergamo. In conclusione dei lavori eseguiti nel passato nel quadro dei corsi precedenti, le funzioni interne possibili per il silos dopo una riqualificazione sono le seguenti :

- al piano terra, uno spazio di accoglienza del pubblico aperto verso una piazza interna alla zona, e una zona commerciale di vendita di prodotti locali, come un mercato coperto
- al piano primo, un panificio per riconnettere l'edificio con la sua funzione originale di stoccaggio del grano, vendendo i suoi prodotti al piano terra
- ai piani superiori, uffici e spazi di esposizione
- in cima all'edificio, per sfruttare della vista eccezionale a 360 gradi, un ristorante funzionando al massimo con i stessi prodotti locali venduti nel mercato coperto, e una terrazza panoramica accessibile al pubblico.

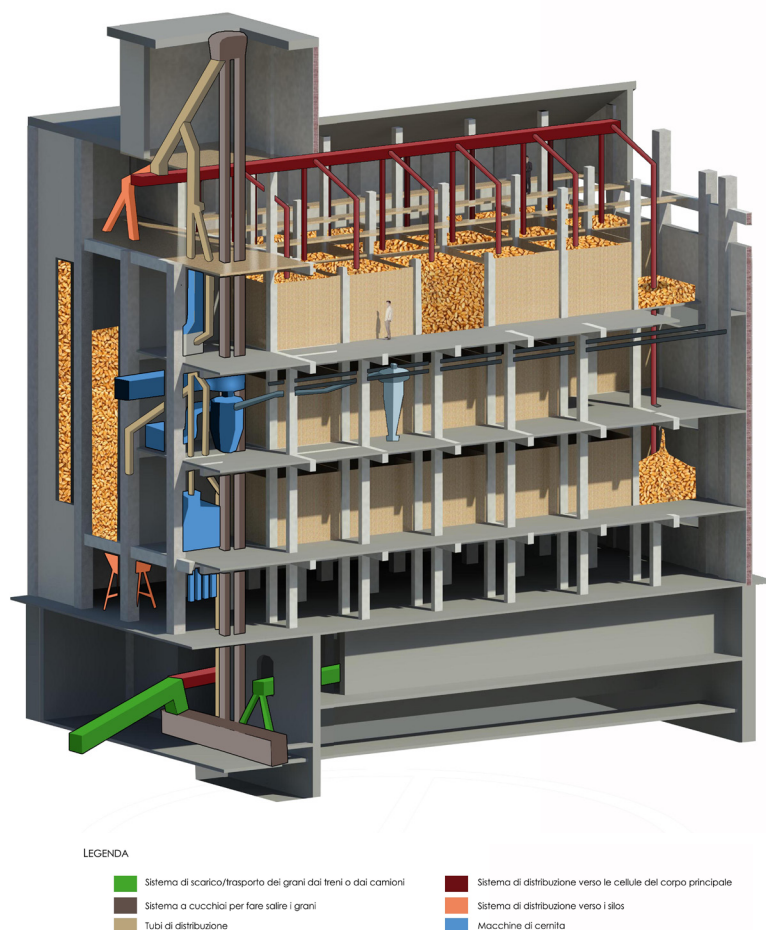


Fig.II.11 - Schema - Funzionamento dell'edificio del Silos

Allo stato esistente, la zona presenta edifici senza particolare valore storico ne architettonico, che chiudono la zona sud dell'area sul bordo delle strade. Con una volontà di apertura massimale della zona, la scelta di demolizione di questi edifici non recuperabili sembra di essere la più logica.

Nel PGT, le funzioni da impostare, oltre ad una grande superficie residenziale, sono commerciali, terziari e di servizi. A queste funzioni aggiungiamo una piazza maggiore, un parco (previsto nel PGT) e dei giardini (per i residenti ed il pubblico).

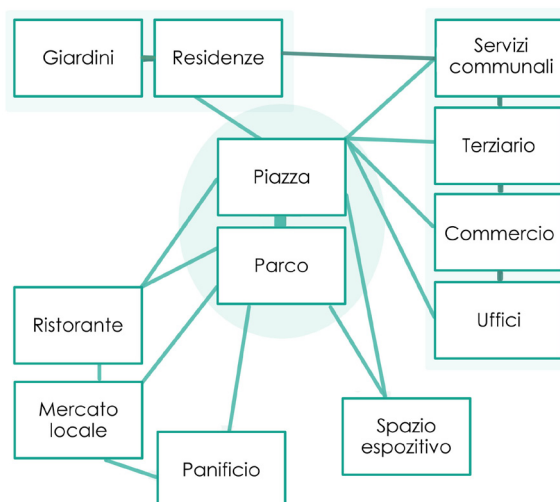


Fig.II.12 - Schema funzionale generale

C. Masterplan

a. Riferimenti generali

Prima di sviluppare in forma il masterplan della zona, alcuni riferimenti ci sono rimasti in mente, per la loro qualità di progettazione.

Per le zone verdi dell'area, tre diversi luoghi di passeggiata sono stati un'ispirazione. Inizialmente, il Giardino dei Giganti, a Lilla, Francia, per la sua eco-progettazione ed il suo funzionamento sostenibile, creando un a vera oasi di calma nella città nonostante la vicinanza con la circonvallazione. È organizzato in tre zone attraverso le quelle si può viaggiare, cominciando con una piazza aperta, il "sagrato delle nuvole", poi un bosco di bambù chiamato "l'erba dei giganti", e in fine, un cammino sull'acqua nel "giardino delle fonti". L'arte è presente nella forma di statue nell'intero giardino, e si scopre allo stesso tempo della centinaia di piante grazie ai numerosi cammini.



Fig.II.13 - Giardino dei Giganti, Lilla, Francia, www.lille-metropole.fr

Un'altro esempio molto famoso rispetto alla riqualificazione ferroviaria urbana è la High Line a New York negli Stati Uniti. Grazie alla sua qualità di luogo pubblico che offre ambienti vegetali diversi però con un'unità chiara, ha incontrato un successo molto importante, diventando anche segno turistico. Per il parco degli Ex-Magazzini Generali, l'uso non solo dai residenti del quartiere ma anche dalla popolazione della città intera e anche dai turisti è il tipo di uso che garantirebbe il successo e il funzionamento della riqualificazione.



Fig.II.14 - High Line, New York, Stati Uniti, www.inspirez.me

Uguualmente, il Parque Lineal del Rio Manzanares a Madrid, grande parco urbano lineare lungo il rio Mananares, presenta delle esperienze varie per passeggiare. La riqualificazione accade dopo la scelta dell'interramento di una porzione di autostrada. È fondamentale lo sfruttamento dell'elemento base, ovvero il fiume per dare un'unità, ma anche l'attraversamento del fiume porta un uno massimo del parco grazie ai diversi punti di entrata, e alla permeabilità così ottenuta della zona, rilegando il centro di Madrid con le sue periferie verso sud-ovest. La possibilità di attraversare la zona facilmente è la qualità ispiratrice da mimetizzare per progettare un nostro parco accessibile e anche zona di passaggio.



Fig.II.15 - Parque Lineal del Rio Manzanares, Madrid, Spagna, www.espormadrid.es

Il masterplan si deve organizzare intorno ad una piazza, come previsto dello schema funzionale, e questa piazza ha il ruolo di centro della zona ma anche di mettere in valore l'edificio del silos, il vuoto della piazza contrastando con il volume pieno dell'edificio. A Bergamo, la piazza Vecchia in Città Alta è un buon esempio di piazza urbana, sottolineando gli edifici circostanti come il Palazzo della Ragione o la Biblioteca Civica. Questa piazza ha il ruolo di anticamera rispetto agli edifici intorno, e sia la fontana in mezzo che la funzione di luogo d'incontro ricordano i cortili delle case e ville romane e dei palazzi rinascimentali, mostrando il legame di scala fra la casa romana, l'isolato italiano rinascimentale e il quartiere o la città stessa.



Fig.II.16 - Piazza Vecchia, Bergamo, www.ecodibergamo.it

Il tipo di edifici a funzione esclusivamente terziaria, commerciale o di servizio sono destinati a non avere un'altezza oltre i due o tre piani, per adattarsi al contesto poco denso e per evitare agli utenti dello spazio esterno di sentirsi schiacciati da la loro altezza, visto il carattere stretto delle vie intorno alla zona e alla presenza di altri edifici già alti. L'apertura relativa verso la piazza o le zone verde ne facilitano l'uso piacevole, se possibile.

Finalmente, la funzione residenziale collocata nella zona nord prevede uno sfruttamento dell'orientazione a sud, per poter creare delle abitazioni sostenibili e un edificio bioclimatico. Alcuni riferimenti ci hanno ispirato per la forma globale dell'edificio. La volontà di massimizzare le aree verdi o vegetalizzate ci ha portato a considerare edifici come la prefettura di Fukuoka progettata da Emilio Ambasz, dove il lato sud diventa un parco salendo fino in cima all'edificio. La forma creata digradante si ritrova anche nell'edificio progettato da Mario Cucinella per la sede sel SIEEEB, (Sino Italian Ecological and Energy Efficient Buiding) a Pechino, centro di ricerca italo cinese per la protezione dell'ambiente. Il principio a terrazza è presente anche in numerosi esempi di edifici residenziali dappertutto il mondo.

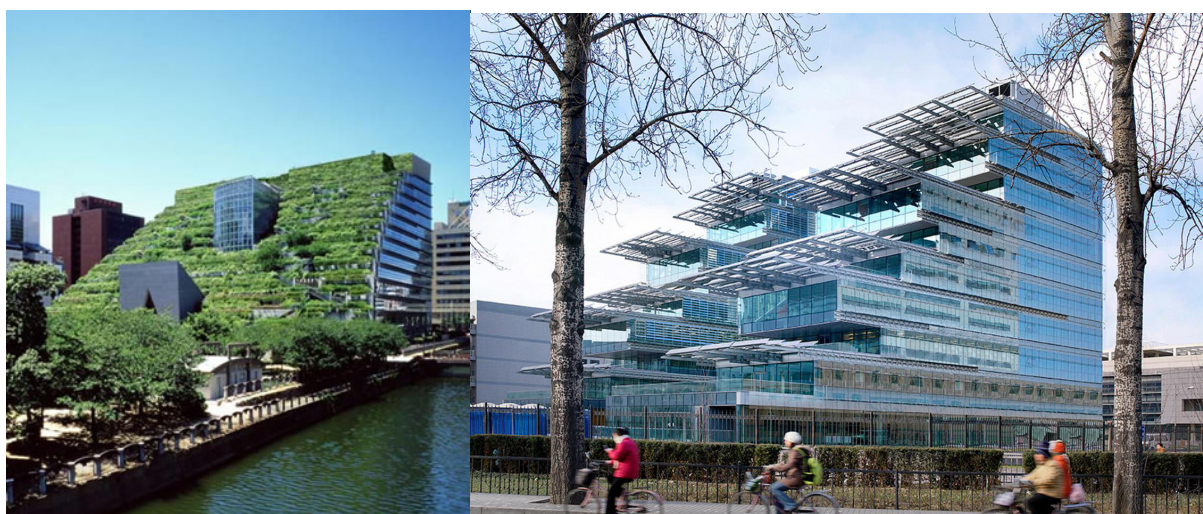


Fig.II.17 - Prefettura di Fukuoka, E. Ambasz, www.greenroofs.com; Sede del SIEEEB, M. Cucinella, www.inhabitat.com

Con quest'insieme di ispirazioni, inizia lo sviluppo globale del masterplan, per fare della zona un'insieme di funzioni e aree interconnesse a diversi livelli. Le immagini individuali si mescolano e si rispondono così per formare un complesso con la sua propria identità.

b. Sviluppo del masterplan

Allo stato attuale, la zona degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo è chiusa e dismessa. In accordo con il Piano di Governo del Territorio della città, l'area è destinata ad essere riqualificata, con un grande parco e degli edifici che assumono varie funzioni dalla residenza ai servizi e negozi di vicinanza. Il processo di sviluppo del masterplan della zona intera comincia con la volontà di ricreare un sentimento di città in questa zona, così per permettere il suo uso durabile e sostenibile.

L'inizio dello sviluppo è la demolizione degli edifici esistenti sul sito che non hanno una valenza particolare, per liberare così lo spazio e offrire la possibilità di riqualificazione migliore.

Dopo le analisi eseguite ai livelli storico, architettonico e sociale della città di Bergamo in generale e della zona in particolare, sembra evidente la scelta della morfologia "piazza e isolati" per dare questo senso di "città". Per poter progettare la riqualificazione e organizzare la zona, la scelta di due assi è necessaria. Il punto focale esistente dell'area è l'edificio del silos

granario, quindi l'asse in mezzo al silos diventa l'asse principale della riqualificazione. Similmente, la strada attraversante l'area è la strada storica che collegava Bergamo città verso le sue periferiche, scelta come secondo asse principale.

Per mettere in valore il Silos lo spazio di fronte rimane vuoto, formando una grande piazza pubblica, di dimensioni simili all'edificio granario. Il resto dell'area è occupato da isolati con vari funzioni, disposti rispetto agli assi principali e ai bordi dell'area. Il lato sud della zona essendo a contatto con la ferrovia, non è conveniente per costruire né degli edifici residenziali né uffici o negozi, quindi questo lato diventa il grande parco previsto nel PGT, proteggendo il resto dell'area.

Le due partie dell'area quindi assumono due destinazioni d'uso : la zona sud, molto aperta, con il silos e il parco è a vocazione pubblica, quando la zona nord è più chiusa e privata. La dualità delle funzioni implica la collocazione delle funzioni residenziali nella parte nord dell'area.

Lo sviluppo dei volumi si svolge in modo da privilegiare la vista verso il silos, l'orientazione per sfruttare la luce naturale, la protezione acustica e visiva dell'intera area : rispetto alla ferrovia, alla circonvallazione, agli edificati alti a nord dell'area. Le estremità della zona sono quindi a livelli più alti per accentuare la protezione e focalizzare le viste verso il silos. Invece, per non chiudere l'area, l'insieme dei volumi devono essere permeabili, con una porosità, soprattutto nella zona sud più pubblica dell'area. Alcuni passaggi e buchi al livello delle strade intorno permettono l'attraversamento del lotto. A queste connessioni pedonali e ciclabili è aggiunta una riconessione verde attraverso l'insieme del sito.

c. Elaborati finali

Tav.II.2 - Masterplan

Tav.II.3 - Sezioni ambientali

D. Elaborati grafici

Tav.II.4 - Masterplan e ambito strategico di Porta Sud

Tav.II.5 - Sezioni della nuova rete viaria - Riassunto 1

Tav.II.6 - Sezioni della nuova rete viaria - Riassunto 2

Tav.II.7 - Masterplan e nuova rete viaria

Tav.II.8 - Mobilità docle ciclopedonale a scala urbana

2. PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

Dopo aver lavorato sul masterplan dell'intera zona, abbiamo sviluppato in dettaglio un solo edificio, quello residenziale. Avendo già una forma globale dell'edificio, il lavoro seguente consiste in ottimizzare la forma dell'edificio rispetto alla sua orientazione, e progettare il complesso residenziale con un comfort massimo per i futuri abitanti e utenti.

A. Riferimenti

Con una volontà di flessibilità e adattabilità dell'edificio così come degli appartamenti, abbiamo studiato diversi esempi di edifici residenziali e soprattutto esempi di modularità. Per dare un'unità stilistica ma non monolitica alla residenza, il lavoro sulle facciate è molto importante, e con questo lo studio di esempi che sfruttano al meglio i materiali, gli oggetti in facciata, il ritmo delle aperture e chiusure.

Rispetto alle facciate, un primo esempio di edificio è un complesso residenziale costruito a Mieres, in Spagna, da Zigzag Arquitectura. In totale ci sono 131 appartamenti nell'isolato, e sono distribuiti in modo da diversificare l'aspetto del complesso. L'isolato è permeabile con due aperture che permettono di raggiungere il parco giardino in centro, e la monotonia del volume è evitato con variazioni nelle altezze. Queste variazioni sono determinate da due parametri: l'illuminazione naturale per lo sfruttamento della luce naturale, e le montagne intorno come punti focali delle viste, sia dagli appartamenti che dal parco interno. Per aumentare la qualità architettonica e il senso di unicità dell'isolato, le facciate sono trattate con una dualità forte: le facciate esterne e i tetti sono ricoperti di pannelli metallici di colore grigio scuro, bucati là dove sono le aperture, quando le facciate interne sono rivestite di listelli di legno verticali, alcuni essendo rilegati in modo da formare anche le ante. Il sentimento di protezione e di intimità così creato all'interno, viene accentuato dalla diminuzione del rumore della strada una volta entrato nella corte.



Fig.II.18 - Edificio residenziale, Mieres, Spagna, Zigzag Arquitectura, www.europaconcorsi.it

Il complesso residenziale "Milanofiori2000", a Milano, progettato da OBR Open Building Research, Paolo Brescia, Tommaso Principi è una striscia ondulante di cinque piani con una strategia bioclimatica. Per raggiungere un'efficienza energetica, gli appartamenti sono con un doppio affaccio, da un lato con un rivestimento in legno e una terrazza semi chiusa con pannelli scorrevoli anch'essi in legno. L'altro lato è digradante, con verande bioclimatiche in vetro e apribile su una terrazza. Le due facciate della striscia danno un'immagine molto diversa, con quella concava più aperta, il materiale predominante essendo il vetro, e invece

la facciata convessa è più chiusa, con meno aperture. L'accesso al complesso si effettua dal lato convesso, ma è possibile attraversare al piano terra l'edificio, per raggiungere il giardino racchiuso del lato concavo. Ancora in quest'esempio la porosità della zona permette un uso più diffuso del luogo.



Fig.II.19 - «Milanofiori 2000», Milano, OBR, P. Brescia, T. Principi, www.europaconcorsi.it

Un progetto di Anne Lacaton e Philippe Vassal a Saint-Nazaire in Francia, chiamato “Autrement mieux” (diversamente migliore) è formato da tre strisce parallele, ognuna di tre livelli, che ospitano 51 case popolari. Le strisce sono tagliate in due o tre parti, per non avere un effetto di massa, e le scale sono collocate dentro questi tagli. Grazie ad una struttura mista di pilastri e travi in acciaio combinati con un solaio in cemento alveolare a portata grande (10m), è possibile liberare gli appartamenti di pilastri portatori. Sul lato nord c'è un lungo balcone con un parapetto in vetro, come sul lato sud. Verso il lato sud, il balcone è a contatto con una loggia che si chiude con un sistema di pannelli scorrevoli in policarbonato. Una tenda con una funzione di ombreggiatura si aggiunge ai pannelli per creare una zona intermedia di uso polivalente, come un giardino d'inverno. Tra questo spazio e l'interno dell'appartamento, delle finestre tutt'altezza e doppiovetro accoppiate ad una tenda a grande efficienza termica permette di isolare l'interno dell'appartamento. Questa tenda è presente anche a nord, per evitare le perdite termiche notturne e il riscaldamento eccessivo di giorno. Gli appartamenti sono tutti traversanti, e al piano terra è stato creato un giardino, sopra i parcheggi interrati. L'insieme del progetto offre alloggi termicamente efficienti e confortevoli.



Fig.II.20 - «Autrement mieux», Saint-Nazaire, Francia, A. Lacaton, P. Vassal, www.darchitectures.com

“Souplesse mathématique” è un progetto realizzato a Nantes, Francia, da François Delhay, Sophie Delhay, Laurent Zimny, Franck Ghesquière e David Lecomte. Sono 55 case popolari progettate in modo da avere una zona urbana individualizzata quindi poco alta, ma densa. Per raggiungere questo obiettivo, ogni alloggio è composto da stanze che sono come

moduli, di una stessa superficie, eccetto la cucina ed il bagno. I moduli sono assemblati in modi diversi, fino a tre piani, per creare diversi tipi di alloggi, ma tutti comprendono un modulo giardino che lega due moduli. Questo permette lo sfruttamento dello spazio naturale da ogni alloggio. L'assemblaggio degli alloggi crea poi delle strisce separate dai giardini privati separati. Tre stradine formano gli accessi, e sono ritmate da colori per accentuare l'individualità e la particolarità di ogni alloggio. L'entrata nel complesso è una serie di esperienze, che si proseguono all'interno degli alloggi con i giardini privati, grazie alla diversità degli assemblaggi dei moduli. La flessibilità e la diversità di uso così ottenute permette una qualità di vita aumentata rispetto a case popolari tradizionali.



Fig. Il.21 - «Souplesse mathématique», Nantes, Francia, F. Delhay, S. Delhay, L. Zimny, F. Ghesquière, D. Leconte, www.cyberarchi.com

Un'altro esempio di modularità è "l'Unité d'habitation" di Le Corbusier, progettata negli anni 40 nel dopo guerra, come modello architettonico. L'assemblaggio di queste "Unités d'habitation" formano un edificio chiamato "Cité Radieuse" che funziona come una città indipendente. I moduli sono gli appartamenti, da diversi tipi e superficie ma sempre in duplex, permettendo così l'accesso ogni tre piani e risparmiando lo spazio di accesso. Nell'edificio sono anche collocate delle funzioni commerciali e di servizio, per esempio con un centro sportivo e una scuola elementare sul tetto e una "strada" dentro l'edificio, con negozi e un hotel. Su entrambi i lati est ed ovest, una doppia facciata di balconi con brise-soleil permette la ventilazione e lo sfruttamento degli apporti solari, proteggendo l'edificio nello stesso tempo. Questo esempio iconico manifesta una volontà di creare un pezzo di città, in una forma verticale per liberare spazio verde al piede dell'edificio. Infatti, l'edificio è sostenuto da pilastri che lo separano dal suolo. Nella teoria di Le Corbusier, una città sarebbe composta di numerosi edifici simili alla "Cité Radieuse", per lasciare spazio alla natura sotto, mettendo l'uomo al centro dello spazio e della costruzione. Con la "Cité Radieuse" e i suoi 337 appartamenti emerge una soluzione per la costruzione veloce e moderna di alloggi di sostituzione a quelli distrutti durante la seconda guerra mondiale.



Fig. Il.22 - «Cité Radieuse», Marseille, Francia, Le Corbusier, ww.blenheimgang.com

B. Sviluppo degli appartamenti

Come costruire una residenza sostenibile ? Dopo aver studiato gli esempi precedenti, cerchiamo di progettare un edificio residenziale che risponde ai bisogni attuali ma anche futuri degli utenti, sui livelli funzionali, sociali ed energetici. I valori che ci sembrano più importanti per una residenza sono quindi i seguenti.

In primo luogo, la mixità sociale con abitanti che sono di tutte origine sociali, di tutti età, di tutti tipi di famiglia, permette incontri dinamici e scambi interpersonali più ricchi.

Poi, si deve favorire la convivialità, ricreando una vita di quartiere con spazi comuni condivisi per gli scambi tra gli utenti della residenza ma anche con quelli del quartiere. Questi spazi comuni possono essere connessioni orizzontali o verticali, piazze interne, terrazze verdi sui tetti, locali riservati per associazioni di quartiere o in libero uso per i residenti, centro per i giovani.

Funzionalmente, la mixità e la convivialità si possono raggiungere con una flessibilità architettonica e di uso. Infatti, rispetto alla mixità, gli alloggi devono poter cambiare di forma secondo i bisogni degli utenti, con l'ingrandimento di una famiglia o l'invecchiamento di una coppia. Oppure una flessibilità di funzione, trasformando un appartamento in un locale per i residenti o in uffici. Una delle soluzioni per raggiungere tale flessibilità è la progettazione di una struttura a maglia regolare e non troppo piccola che permette l'uso dello spazio come insieme di moduli.

L'ultimo valore da considerare come essenziale è il comfort degli alloggi, punto di partenza di ogni progetto architettonico residenziale. I parametri per aumentare il comfort dell'utente sono numerosi, ma i primi sono il comfort termico ed il comfort luminoso. L'efficienza energetica permette così di rendere lo spazio interno piacevole, con il vantaggio di diminuire il costo delle spese energetiche. Considerando il fatto che il prezzo dell'energia è sempre in aumento, un alloggio che ne risparmia il più possibile è molto apprezzato. Anche lo sfruttamento di spazi esterni e semi-esterni che collegano l'alloggio con la natura permette di aumentare il carattere piacevole di un appartamento. In forma, gli spazi esterni sono creati come balconi e verande, con una doppia funzione di oggetto ombreggiante naturale.

La sostenibilità si raggiunge anche con una durabilità nel tempo dell'edificio e dei materiali scelti per la costruzione, con una particolare attenzione portata anche alla fase di fine di vita dell'edificio, ovvero la sua demolizione o riciclabilità.

Cominciando con lo scheletro dell'edificio, la struttura è una maglia quadrata larga da 4 metri. L'edificio ha una larghezza da due moduli, e gli appartamenti sono sviluppati in modo da avere un doppio affaccio. Il doppio affaccio in generale permette una migliore illuminazione delle grandi stanze attraversanti, e anche una ventilazione naturale facilitata per l'insieme dell'appartamento.

Gli appartamenti sono costituiti da moduli da 4m per 4m messi insieme, il loro numero è variabile secondo il tipo di appartamento. Ci sono diversi moduli : il modulo bagno, con il bagno e una parte di corridoio, il modulo cucina anche con una parte di circolazione dov'è situata la porta d'entrata, il modulo soggiorno, e il modulo camera (con o senza parte di corridoio secondo la tipologia dell'appartamento. Quattro moduli formano un appartamento di tipo T2, con un soggiorno, una camera, una cucina e un bagno. Un appartamento di tipo T3 corrisponde a sei moduli : un soggiorno da un modulo e mezzo, una camera modulo, una camera da un modulo e mezzo, una cucina e un bagno. Aumentando la superficie fino ad otto moduli si ottiene un T4 con un soggiorno da due moduli, tre camere, una cucina e due bagni.

La ripartizione percentuale dei tipi è la seguente : 32% di appartamenti di tipo T2, 45% di appartamenti di tipo T3, e 22% di appartamenti di tipo T4, per un totale di 49 appartamenti. Quindi ci sono 16 alloggi di tipo T2, 22 di tipo T3 e 11 di tipo T4. Questi tre tipi sono destinati a diversi utenti. Per esempio, il tipo T2 sarebbe per una persona sola, o una coppia di qualsiasi età; il tipo T3 permette di accogliere sia due coinquilini, una coppia, o una famiglia fino a quattro persone; e finalmente, un tipo T4 può essere occupato da una famiglia da quattro o cinque persone al massimo, oppure da tre o più coinquilini.

I tre tipi di appartamenti sono funzionalmente strutturati in un modo simile. L'entrata dà sullo spazio giorno composto dal soggiorno, con la cucina e lo spazio pranzo, per poter accogliere gli abitanti e i loro invitati nella parte pubblica dell'appartamento. Una porta separa questa zona dalla parte più privata, la zona notte, con un corridoio che dà accesso alle camere ed al bagno. Nel caso del tipo T4, il secondo bagno più piccolo è collocato vicino alla zona giorno e all'entrata.

Ogni stanza ha un accesso a un balcone, all'eccezione ovvia dei bagni, dove non è necessario e anche per il carattere privato del loro uso. Sul lato del soggiorno, il balcone è presente sull'intera lunghezza dell'appartamento, creando uno spazio aggiuntivo di vita grazie ad una veranda apribile davanti al soggiorno. Questo lato è orientato a sud-est o sud-ovest, approfittando della luce naturale ma anche con un bisogno di schermi per evitare il riscaldamento eccessivo d'estate. I balconi sono degli oggetti ombreggianti per i piani inferiori, e in aggiunta, dei pannelli scorrevoli trasforati in legno permettono di aumentare e adattare l'ombreggiamento.

Sul lato della cucina, orientato a nord-ovest o nord est, ci sono balconi puntuali, per la cucina, e per la camera che affaccia su questo lato. Rispetto alla loro orientazione non sono schermati con pannelli verticali per poter sfruttare la luce bassa dell'inizio o della fine della giornata.

L'insieme degli appartamenti hanno così balconi che danno ai loro abitanti dei spazi di vita ingranditi e diversi, aumentando la qualità di vita e il rapporto con la natura e la città circostanti. I balconi e le loro verande sono così una zona intermedia, tra interno ed esterno, semi-privata.

Tav. II.9 - Appartamento Tipo T2

Tav. II.10 - Appartamento Tipo T3

Tav. II.11 - Appartamento Tipo T4

C. Progettazione delle zone di connessioni verticali e disposizione degli appartamenti

Per fare funzionare l'intero edificio al livello architettonico senza creare una massa troppo omogenea, due strategie sono state usate. La prima riguarda le torri scale che devono essere tagli nell'edificio per permettere il suo frazionamento visivo. La seconda strategia concerne la disposizione degli appartamenti in modo da non creare facciate e volumi identici per le quattro ali dell'edificio.

Le torri di connessione verticale sono pensate in opposizione con il resto dell'edificio. Le torri sono molto trasparenti, per portare luce dentro questi spazi comuni, e farne una zona tra esterno e interno. Questi luoghi hanno vocazione ad essere luoghi di passaggio dove si effettua un viaggio architettonico, salendo con le scale. L'apertura della zona contribuisce all'esperienza architettonica con la possibilità per l'utente delle scale di rendersi conto della sua elevazione progressiva e del cambiamento della sua prospettiva sul contesto. La salita verticale non è un viaggio naturale né banale, e delle scale che permettono di arricchire una tale esperienza incuriosiscono e sono un motivo supplementare di prenderle invece di salire con un ascensore. Inoltre le scale sono aperte sul pianerottolo e permettono agli abitanti di avere più contatti, e al questo spazio di essere un luogo condiviso, un luogo d'incontro.

Ogni torre scale da accesso a due o tre tipi di appartamenti per massimizzare la mixità tra i diversi abitanti. Quella diversità permette anche di avere facciate uniche, non simmetriche. Gli appartamenti sono accatastati in modo di non averne due simili allineati verticalmente quando possibile, per introdurre dinamica nelle facciate. L'edificio ha quattro ali di tre lunghezze diverse, organizzate con scalature grazie ai diversi tipi di appartamenti, e le multiple possibilità di sistemazione permettono l'individualizzazione delle ali in volume e in prospetto, tutte diverse e uniche. Infatti la posizione delle finestre e dei balconi, con anche pannelli scorrevoli, sono all'origine di imagine che cambiano durante il corso della giornata con le ombre e il movimento dei pannelli. Le due ali esterne salgono fino a un'altezza maggiore in un obiettivo di protezione dello spazio interno, racchiudendo l'edificio verso le corti interne e bloccando gli svantaggi della circonvallazione o degli edifici alti circostanti.

Grazie alla scalatura generale dell'edificio, è possibile di sfruttare i tetti accessibili come spazi comuni per i residenti, sotto la forma di orti e giardini per rendere lo spazio naturale occupato dall'edificio agli utenti. In cima all'edificio le viste sulla città alta e verso le montagne aumentano l'interesse rispetto all'uso dei tetti. Con la piantazione di alberi sui lati del tetto, lo spazio aperto creato sembra sospeso nell'aria, un luogo fuori realtà che cambia l'aspetto generale dell'edificio e genera curiosità dalla gente nelle corte, o in mezzo alla piazza.

D. Elaborati grafici

Tav.II. 12 - Planivolumetrico

Tav.II. 13 - Piano Terra

Tav.II. 14 - Primo Piano

Tav.II. 15 - Secondo Piano

Tav.II. 16 - Terzo Piano

Tav.II. 17 - Quarto Piano

Tav.II. 18 - Quinto Piano

Tav.II. 19 - Piano Copertura

Tav.II.20 - Prospetto Nord e Sud

Tav.II.21 - Prospetto Est e Ovest- Ala secondaria

Tav.II.22 - Sezioni architettoniche - Ala secondaria

INDICE CAPITOLO III

CAPITOLO III. STRATEGIE TECNOLOGICHE	65
1. PROGETTO TECNOLOGICO	65
A. Insieme delle stratigrafie del progetto	66
B. Prestazioni valutate	67
a. <i>Prestazioni termiche in regime stazionario</i>	67
b. <i>Prestazioni termiche in regime dinamico</i>	67
c. <i>Prestazioni antincendio</i>	67
d. <i>Prestazioni igrotermiche</i>	67
e. <i>Prestazioni acustiche</i>	68
C. Stratigrafie di progetto	69
a. <i>CO1 - Soletta controterra</i>	69
b. <i>CO2/3/4 - Copertura degli appartamenti</i>	70
c. <i>CV1 - Muro controterra</i>	71
d. <i>CV2/3 - Muro di tamponamento</i>	72
e. <i>PV1 - Parete divisorie nei locali</i>	73
f. <i>PV2 - Muro di confine tra locali</i>	73
g. <i>PV3 - Parete divisoria</i>	74
h. <i>PV4 - Muro di confine</i>	74
i. <i>PO - Soletta interpiano</i>	75
j. <i>PeO1/2 - Soletta balcone senza e con isolamento</i>	76
k. <i>PeO3/4 - Copertura balcone senza e con isolamento</i>	76
l. <i>Stratigrafie delle torre di circolazione</i>	77
m. <i>Tavole di dettagli allegati</i>	78
D. Verifica dell'accessibilità	79
a. <i>Porte</i>	79
b. <i>Servizi igienici</i>	79
c. <i>Cucina</i>	79
d. <i>Corridoi</i>	79
e. <i>Torre di circolazione</i>	79
f. <i>Indicazione del percorso</i>	80
E. Verifica antincendio	80
a. <i>Requisiti costruttivi</i>	80
b. <i>Resistenza al fuoco alle strutture</i>	80
c. <i>Accesso all'area</i>	81
d. <i>Scale</i>	81
2. PROGETTO ILLUMINOTECNICO	82
A. Introduzione	82

B.	Studio delle ombre	83
C.	Studio degli indicatori FLD_m e E_m	85
	<i>a. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T2, Ala</i>	85
	<i>b. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T3</i>	86
	<i>c. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T4</i>	87
	<i>d. Camera, appartamento T2</i>	88
	<i>e. Camera matrimoniale, appartamento T3</i>	89
	<i>f. Camera, appartamento T3</i>	90
	<i>g. Camera matrimoniale, appartamento T4</i>	91
	<i>h. Camera singola 1, appartamento T4</i>	92
	<i>i. Camera singola 2, appartamento T4</i>	93
	<i>j. Bagno grande, tutti tipi di appartamenti</i>	94
	<i>k. Bagno piccolo, appartamento T4</i>	95
	<i>l. Antibagno, appartamento T4</i>	96
	<i>m. Conclusioni</i>	97
3.	PROGETTO ENERGETICO	98
	A. Introduzione e obiettivi energetici	98
	B. Analisi del clima locale	100
	C. Bilancio energetico e simulazioni	103
	<i>a. Comfort termico</i>	103
	<i>b. Consumo energetico</i>	108
	<i>c. Guadagni e perdite passive</i>	112

CAPITOLO III. STRATEGIE TECNOLOGICHE

1. PROGETTO TECNOLOGICO

Il complesso residenziale presenta due tipologie costruttive diverse, quella dei blocchi di abitazione e quella delle torre di circolazione verticale. Questa scelta di due modi costruttivi è motivata dalla scelta delle zone di circolazione verticale come zone semi-esterne con un bisogno ridotto di consumazione energetica.

La struttura delle torre di circolazione è una struttura a telaio in acciaio. Per permettere l'accesso agli appartamenti, ci sono delle passerelle di connessione orizzontali per ogni piano e questa soletta è fatta con una lamiera grecata su la quale si aggiunge un getto in calcestruzzo con un'armatura in rete elettrosaldata. Il nucleo della torre è l'ascensore in calcestruzzo che blocca la torsione dell'insieme della struttura. Delle scale in acciaio s'inseriscono tra i pilastri strutturali in acciaio. Per fare di questa zona di circolazione una zona semi-chiusa, dei listelli di legno fissati ai pilastri, con una distribuzione irregolare, contribuiscono alla semi-trasparenza delle torri, assumendo anche un ruolo di protezione solare.

Per il modo costruttivo dei blocchi di abitazione, la caratteristica principale su la quale si basano le scelte materiche è il potenziale d'inerzia termica delle tamponature esterne, che deve essere massimizzato. Questo è valido non solo per l'inverno quando i calori interni sono meglio contenuti, ma anche per l'estate dove l'inerzia termica permette di assorbire l'eccesso di calore sia esterno che interno. Mentre per le partizioni interne, una stratificazione a secco è stata scelta, più leggera che le partizioni interni tradizionali, e che permette anche una maggiore flessibilità, per facilitare alcuni cambi interni agli appartamenti se bisogno.

L'inerzia termica essendo il primo criterio, è stata scelta un'unità di materiali con un insieme di elementi prefabbricati in calcestruzzo. La costruzione del complesso è dunque meno dipendente delle condizioni climatiche, con una maggiore velocità di esecuzione. Inoltre, la prefabbricazione di questi elementi permette di controllare il loro impatto ecologico con dei prodotti di cui il processo di fabbricazione e le prestazioni sono state ottimizzate.

Partendo dall'esterno, un primo guscio copre il blocco di abitazioni. Questo guscio è composto da pannelli in fibro cemento fissati su strisce di fibrocemento per i piani abitativi e in pietra naturale al piano terra. Questo strato esterno garantisce una protezione del guscio termico contro l'acqua e il raggionamento solare, entrambi elementi che possono diminuire le prestazioni di materiali.

Il secondo guscio, a ruolo termico, è fatto a blocchi d'isolante minerale solido aggiunti a blocchi di cemento cellulare. Con questo sistema si ottengono le seguenti prestazioni :

- un controvento tra le tamponature;
- un ottimo isolamento termico:

$$U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{\text{casa passiva}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Attenuazione } fd = 0.11 < 0.12$$

$$\text{Sfasamento } \phi = 16 \text{ ore} > 12 \text{ ore};$$

- una regolazione dell'umidità;
- un ottimo isolamento acustico;
- una tamponatura ignifuga.

Tutti i tipi di rivestimento interno possono essere poi utilizzati direttamente senza l'aggiunto di una malta di finizione tra questo guscio e il rivestimento.

La struttura a telaio si inserisce nello spessore del guscio termico. Grazie a una maglia regolare di dimensione standard, 4 x 4 m, è garantito uno spessore di pilastri e travi minore.

Finalmente, le partizioni interne orizzontali sono delle solette in calcestruzzo alveolare, rispettando così l'unità materiale dell'edificio. Di peso inferiore a una soletta piena, un solaio in calcestruzzo alveolare garantisce un'ottima stabilità strutturale per un peso ridotto, e permette un risparmio spaziale con la possibilità di nascondere tutti i tubi impiantistici nelle solette.

Gli elementi aggiuntivi esterni, come i balconi e i pannelli scorrevoli per la protezione solare, sono in un materiale con un aspetto più caldo, il legno. Questo materiale presenta anche il vantaggio di una leggerezza strutturale rispetto al calcestruzzo.

A. Insieme delle stratigrafie del progetto

CHIUSURE ORIZZONTALI

CO1	Soletta controterra
CO2	Copertura con ghiaia
CO3	Copertura con pavimentazione galleggiante
CO4	Copertura con verde

CHIUSURE VERTICALI

CV1	Muro controterra
CV2	Muro di tamponamento in pietra artificiale
CV3	Muro di tamponamento in fibro cemento

PARTIZIONI VERTICALI INTERNE

PV1	Parete divisoria al piano terra
PV2	Muro di confine al piano terra
PV3	Parete divisoria
PV4	Muro di confine

PARTIZIONI ORIZZONTALI INTERNE

PO	Soletta interpiano
----	--------------------

PARTIZIONI ORIZZONTALI ESTERNE

BALCONI

PeO 1	Soletta balcone non isolato
PeO 2	Soletta balcone sotto veranda
PeO 3	Copertura balcone non isolato
PeO 4	Copertura balcone sopra veranda

TORRE DI CIRCOLAZIONE

PeO 5	Soletta controterra
-------	---------------------

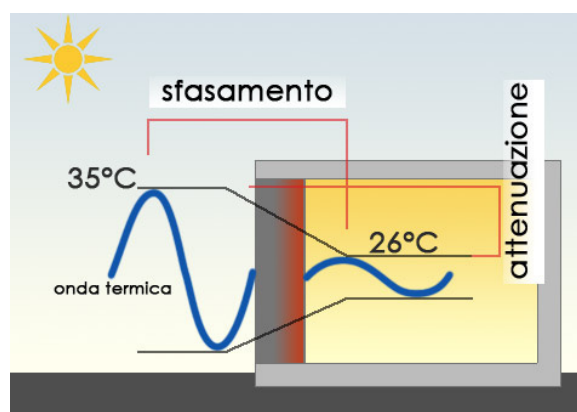
B. Prestazioni valutate

a. Prestazioni termiche in regime stazionario

In regime stazionario, la trasmissione di calore è caratterizzata dalla trasmittanza termica U (W/m^2K), che mostra la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento della superficie di $1 m^2$ in presenza di una differenza di temperatura di $1 K$ tra l'interno e l'esterno. La trasmittanza dipende dai diversi strati di materiali e dai coefficienti di adduzione interna ed esterna h_i e h_e ($W/m^2 K$).

b. Prestazioni termiche in regime dinamico

I carichi termici interni ed esterni, variabili nell'arco di un giorno, devono essere regolati dalla parete in modo da controllare la temperatura ambientale e di non creare un surriscaldamento. La prestazione di regolazione è rappresentata da tre fattori da considerare insieme :



- il fattore di attenuazione f_d , rappresenta la quantità di calore che attraversa una struttura, è ridotta d'intensità. Per il comportamento in estate si richiede un'attenuazione ottimale inferiore a 0.15 (decreto 26 giugno 2009)
- il sfasamento φ (ore), o il ritardo in ore con quello la calore giunge l'interno. Per il comportamento in estate si richiede un sfasamento ottimale superiore a 12 ore (decreto 26 giugno 2009)

• la trasmittanza termica periodica Y_{ie} (W/m^2K), è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore (definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008) Si ha un comportamento ottimo per :

$Y_{ie} < 0.12 W/m^2K$	per le parete verticali
$Y_{ie} < 0.20 W/m^2K$	per le parete orizzontali

c. Prestazioni antincendio

La resistenza al fuoco indica il tempo durante il quale un elemento costruttivo mantiene le sue proprietà fisiche e meccaniche:

- la stabilità meccanica (R)
- la tenuta al fumo (E)
- la tenuta al calore (I)

Il Decreto 16.05.87 per la sicurezza antincendio impone un comportamento REI 60. Il comportamento è valutato secondo i dati costruttivi indicati dai produttori nelle schede tecniche dei loro prodotti.

d. Prestazioni igrotermiche

Si valuta il fenomeno di condensazione all'interno di una parete attraverso il diagramma

di Glaser. La pressione parziale deve rimanere inferiore alla pressione di saturazione in modo di evitare un fenomeno di condensazione.

Il metodo di calcolo viene dalla letteratura : La verifica termoigrometrica delle pareti, G. Bervetti et F. Soma, éd. Hoepli, 1982.

Per i condizioni igrotermiche esterne è scelto il mese di gennaio :

Temperatura esterna minima media : -2 °C

Umidità relativa estrema : 75%

Temperatura interna : 19°C

Umidità relativa interna : 50%

Calcolo della pressione di saturazione

Secondo la temperatura T del strato considerato, si ha :

si $T \geq 273.15$

$$P_{s0} = \exp \left(\frac{-5800.2206}{T} + 1.3914993 - 0.048640239 T + 4.1764768 \cdot 10^{-5} T^2 - 1.4452093 \cdot 10^{-8} T^3 + 6.5459673 \ln(T) \right)$$

si $T < 273.15$

$$P_{s0} = \exp \left(\frac{-5674.5339}{T} + 6.3925247 - 0.0096777843 T + 6.22115701 \cdot 10^{-7} T^2 + 2.0747825 \cdot 10^{-9} T^3 - 9.484024 \cdot 10^{-13} T^4 + 4.1635019 \ln(T) \right)$$

Temperatura dei diversi strati

$$T_i = T_{i-1} - R_{fi} \cdot (T_{int} - T_{est}) / R_{tt}$$

con :

T_{int}	la temperatura interna scelta a 19°C
T_{est}	la temperatura esterna scelta a -2°C (nel caso del terreno 0°C)
R_{fi}	la resistenza termica del strato
R_{tt}	la resistenza termica della parete con i cambi superficiali

Calcolo della pressione parziale

Si determina prima le pressione parziale interna e esterna :

$$P_{pint} = Hygr_{int} P_{sint} / 100 = 50 \% P_{sint}$$

$$P_{pext} = Hygr_{ext} P_{sext} / 100 = 75 \% P_{sext}$$

La pressione parziale per ogni strato è allora :

$$P_{pi} = P_{pi-1} - R_{di} (P_{pint} - P_{pext}) / R_{dt}$$

con :

P_{pint}	la pressione parziale interna
P_{pext}	la pressione parziale esterna
R_{di}	la resistenza all'umidità del strato considerato :
$R_{di} = e \mu_{strato} \mu_{aria} = S_d \mu_{aria}$	

dove e è la spessore del strato

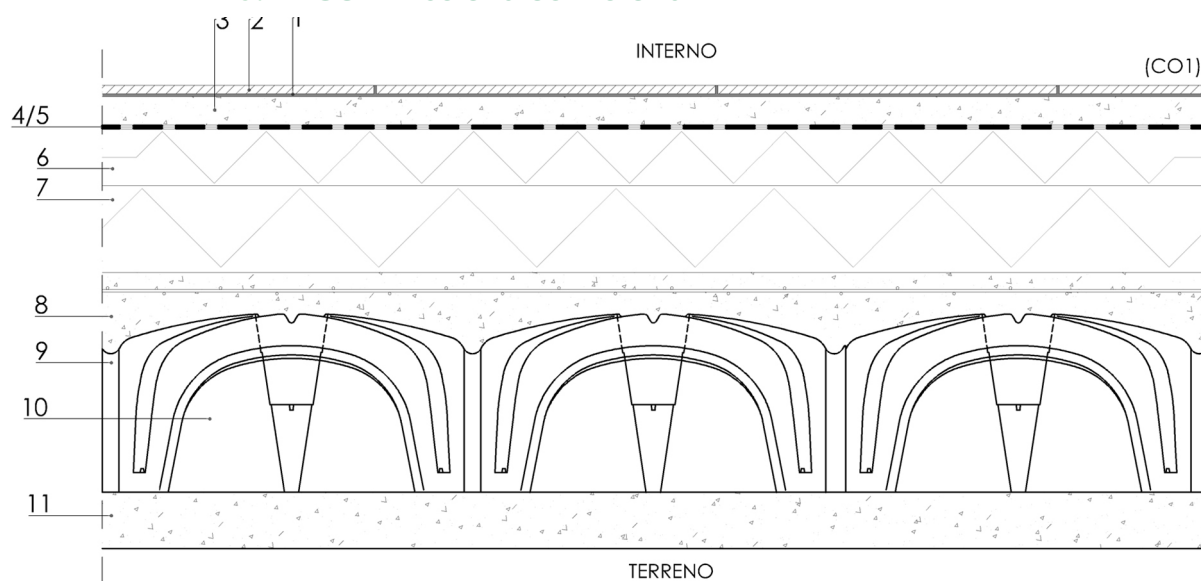
μ_{aria}	la permeabilità dell'aria di 1.48 E6 (m.ore.Pa/kg)
R_{dt}	la resistenza all'umidità della parete

e. Prestazioni acustiche

Il potere fonoisolante è stato stimato con un foglio di calcolo Excel creato da MyGreenBuildings.org Risparmio Energetico e Sostenibilità Ambientale degli Edifici. Segue la norma UNI EN ISO 13786.

C. Stratigrafie di progetto

a. CO1 - Soletta controterra



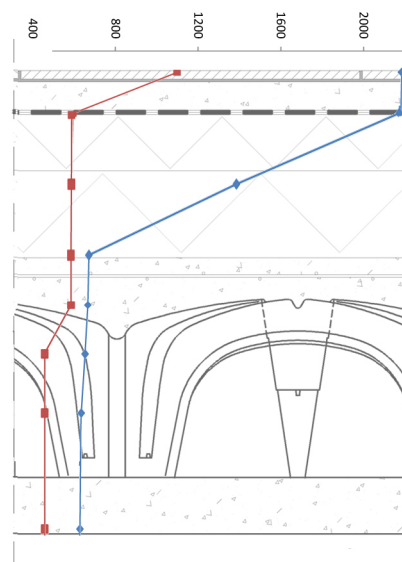
N°	DESCRIZIONE	SPESORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m²K/W	kg/m³	kg/m²
INT	INTERNO				0.100		
1	Piastrelle di ceramica	1				2300	23.000
2	Colla per piastrelle	0.5					
3	Malta di livellamento	5	1.400	1000	0.036	375	18.750
4	Membrana bituminosa rinforzata con tessuto non tessuto	0.4	0.230	1000	0.017	1100	4.400
5	Feltro in polipropilene per il rinforzo e la protezione	0.4	0.200	1300	0.020	933	3.732
6	Isolante termico rigido in polistirene estruso (XPS)	10	0.035	1680	2.857	35	3.500
7	Isolante termico rigido in polistirene estruso (XPS)	15	0.035	1680	4.286	35	5.250
8	Getto in calcestruzzo con rete elettrosaldata	7	1.800	1000	0.039	2500	175.000
9	Igloo per vespaio aerato	2	0.170	900	0.118	1390	27.800
10	Camera d'aria	30	0.026	1000	0.160	1	0.300
11	Magrone di calcestruzzo	10	1.400	1000	0.071	2000	200.000
TER	TERRENO				0.040		
	TOTALE	81.3			7.744		462

SINTESI PERFORMANCE

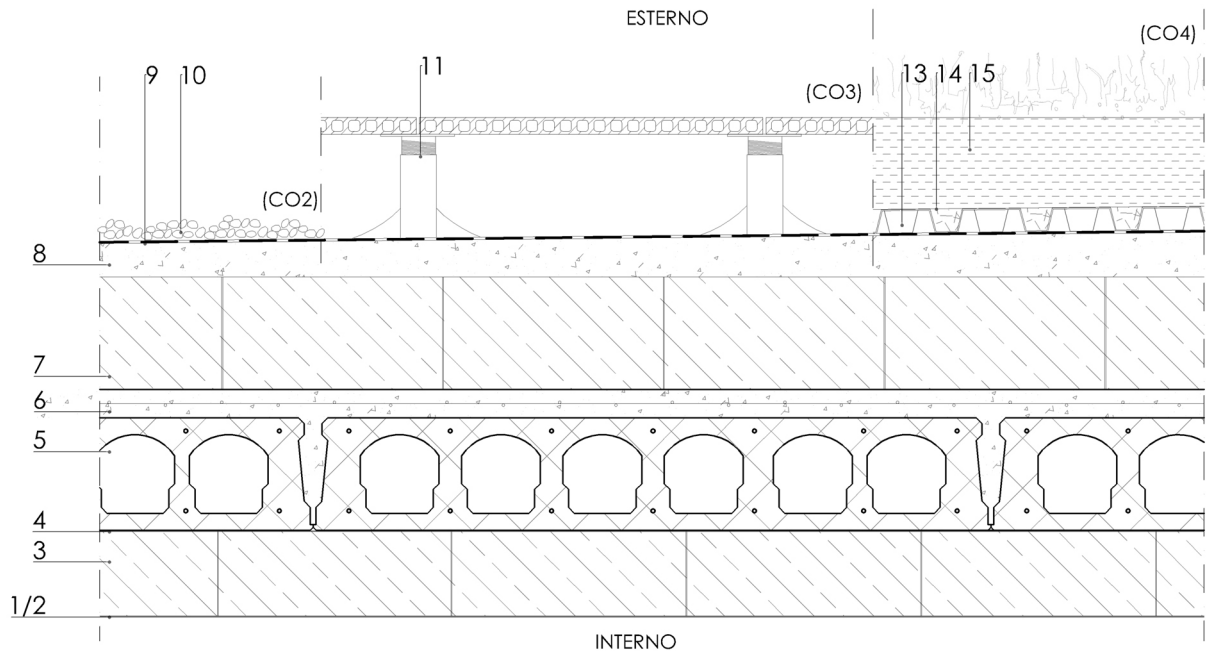
Massa superficiale	M_s	462	kg/m²
Resistenza termica	R_T	7.744	m²K/W
Trasmittanza	U_T	0.129	W/m²K
Attenuazione (<0.15)	f_d	0.102	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	14.39	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{ie}	0.013	W/m²K

DIAGRAMMA DI GLASER

PRESSIONE DI SATURAZIONE PRESSIONE PARZIALE



b. CO2/3/4 - Copertura degli appartamenti

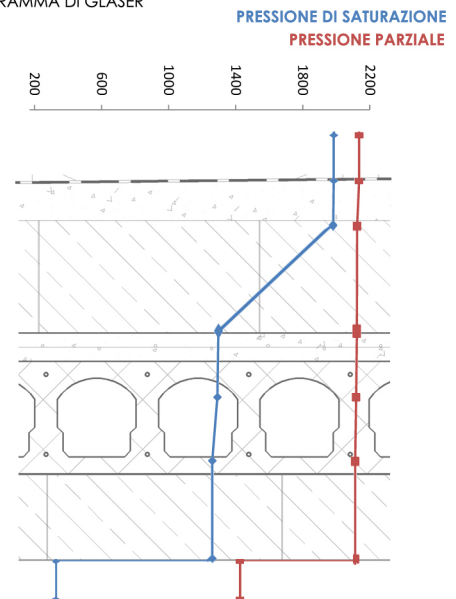


N°	DESCRIZIONE	SPESSORE cm	CONDUTTIVITA' TERMICA W/mK	CALORE SPECIFICO J/kgK	RESISTENZA TERMICA m²K/W	DENSITA' kg/m³	MASSA SUPERFICIALE kg/m²
INT					INTERNO		
1	Idropittura traspirante	0,2			0,170		
2	Barriera al vapore						0,180
3	Isolante minerale solido in blocchi di dim. 39x60 cm	15	0,042	1300	3,571	95	14,25
4	Malta collante per isolante	0,2					
5	Solai alveolare prefabbricato in calcestruzzo armato	20	1,304	200	0,153	1195	239,00
6	Getto in calcestruzzo con rete elettrosaldata	5	1,800	1000	0,028	2500	125,00
7	Isolante minerale solido in blocchi di dim. 39x60 cm	20	0,042	1300	4,762	95	19,00
8	Malta in pendenza	5	1,400	1000	0,036	375	18,75
9	Membrana impermeabilizzante traspirante						0,130
EST					ESTERNO		
TOTALE TERMICO		66,1			8,760		416
<i>Strati di finizione non considerati per le performance</i>							
10	Ghiaia pesante	2					
11	Piedino regolabile	10 << 20					
12	Piastrelle in cemento alveolare	3					
13	Elemento drenante	3					
14	Tessuto di filtro	0,2					
15	Terra	5 << 100					

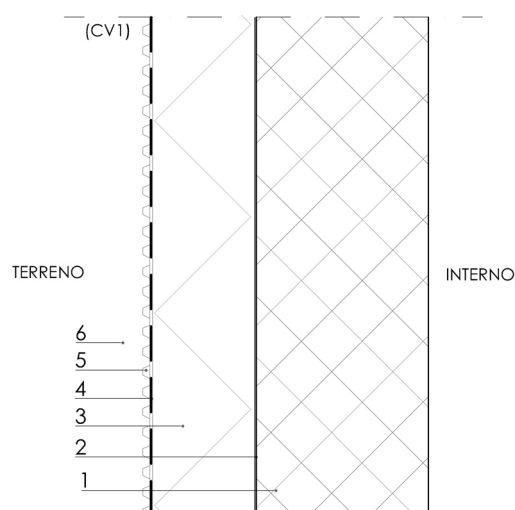
SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	416	kg/m²
Resistenza termica	R_T	8,760	m²K/W
Trasmittanza	U_T	0,114	W/m²K
Attenuazione (<0.15)	f_{d1}	0,027	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	15,35	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{sp}	0,002	W/m²K
Indice potere fonoisolante	R'_{w}	56	dB
Resistenza al fuoco	REI	120	

DIAGRAMMA DI GLASER



c. CV1 - Muro controterra

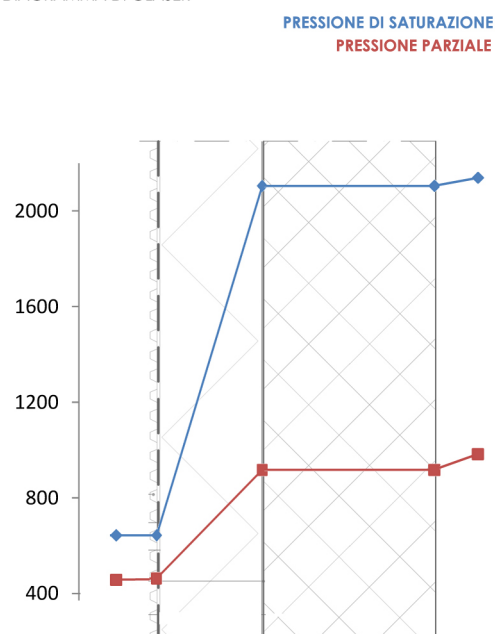


N°	DESCRIZIONE	SPESORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m²K/W	kg/m³	kg/m²
INT	INTERNO (soletta controterra)				0.130		0
1	Calcestruzzo armato	30	1.800	1000	0.167	2500	750.00
2	Collante per isolante	0,3					
3	Isolante termico rigido in polistirene estruso (XPS)	15	0.035	1680	4.286	35	5.25
4	Membrana impermeabilizzante traspirante						0.130
5	Membrana alveolare drenante	1					
6	Ghiaia drenante						
TER	TERRENO				0.040		0.000
	TOTALE	46.3			4.622		755

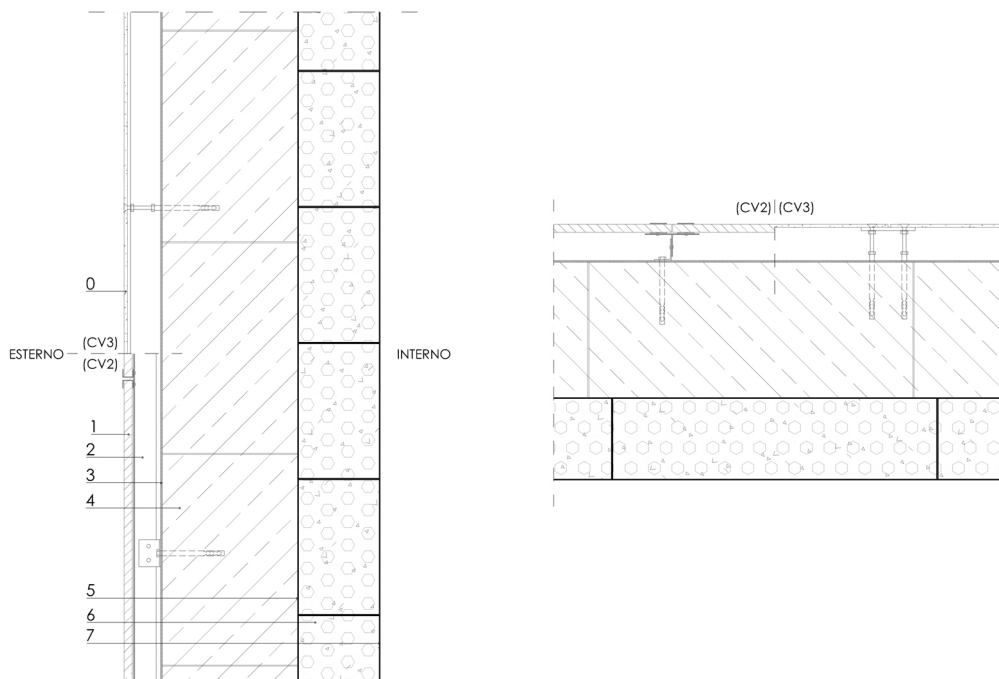
SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	755	kg/m²
Resistenza termica	R_T	4.622	m²K/W
Trasmittanza	U_T	0.216	W/m²K
Attenuazione (<0.15)	f_d	0.138	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	8.89	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{is}	0.030	W/m²K
Indice potere fonoisolante	R'_{w}	60	dB

DIAGRAMMA DI GLASER



d. CV2/3 - Muro di tamponamento

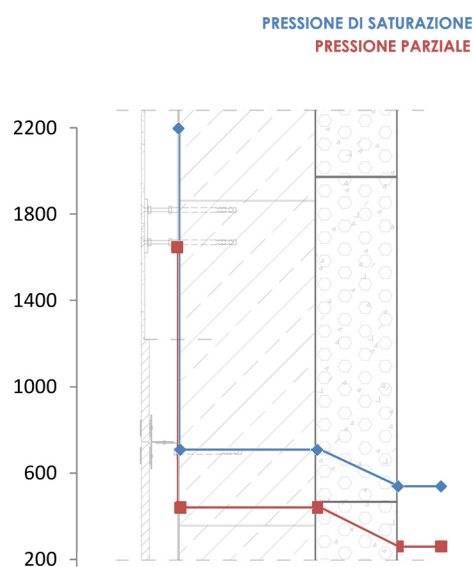


N°	DESCRIZIONE	SPESORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m²K/W	kg/m³	kg/m²
EST	ESTERNO				0.040		0
0	Pannelli di fibrocemento	0.6				1900	11.40
1	Pannelli di pietra naturale	1.5					
2	Lastra d'aria	6					
3	Malta di protezione	0.2				1800	3.60
4	Isolante minerale solido in blocchi di dim. 39x60 cm	25	0.042	1300	5.952	95	23.75
5	Collante per isolante	0.2					
6	Cemento cellulare in blocchi di dim. 25x60 cm	15	0.120	1000	1.250	485	72.750
7	Idropittura traspirante	0.2					
INT	INTERNO				0.130		0
	TOTALE	48.7			7.372		112

SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M _s	112	kg/m²
Resistenza termica	R _t	7.372	m²K/W
Trasmittanza	U _t	0.136	W/m²K
Attenuazione (<0.15)	f _d	0.154	
Sfasamento (> 12h)	φ	14.25	ore
Trasmittanza termica periodica	Y _{se}	0.021	W/m²K
Indice potere fonoisolante	R' _w	46	dB
Resistenza al fuoco	REI	120	

DIAGRAMMA DI GLASER

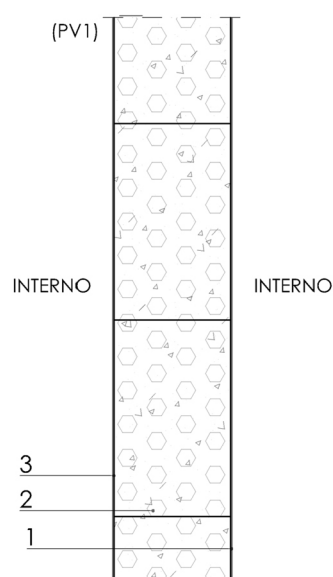


PRESSIONE DI SATURAZIONE
PRESSIONE PARZIALE

e. PV1 - Parete divisorie nei locali

Le pareti divisorie PV1 sono composte da un unico strato di cemento cellulare pitturato:

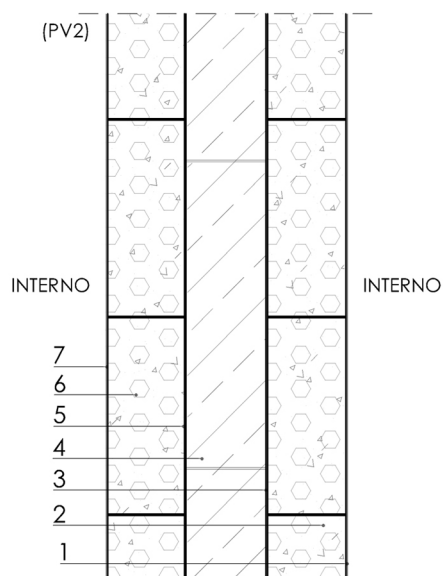
- spessore complessivo di 15.4 cm,
- massa superficiale $M_s = 73 \text{ kg/m}^2$
- potere fonoisolante $R'_{w} = 37 \text{ dB}$,
- REI di 120.



f. PV2 - Muro di confine tra locali

SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	107	kg/m ²
Resistenza termica	R_t	4.308	m ² K/W
Trasmittanza	U_t	0.232	W/m ² K
Attenuazione (<0.15)	f_{d1}	0.286	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	11.43	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{te}	0.066	W/m ² K
Indice potere fonoisolante	R'_{w}	42	dB
Resistenza al fuoco	REI	120	

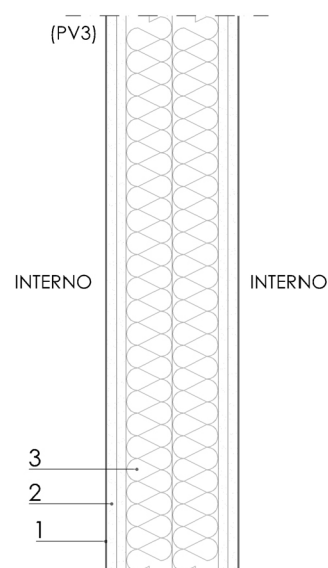


N°	DESCRIZIONE	SPESSORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m ² K/W	kg/m ³	kg/m ²
INT	INTERNO				0.130		0
1	Idropittura traspirante	0.2					
2	Cemento cellulare in blocchi di dim. 25x60 cm	10	0.120	1000	0.833	485	48.500
3	Collante per isolante	0.2					
4	Isolante minerale solido in blocchi di dim. 39x60 cm	10	0.042	1300	2.381	95	9.50
5	Collante per isolante	0.2					
6	Cemento cellulare in blocchi di dim. 25x60 cm	10	0.120	1000	0.833	485	48.500
7	Idropittura traspirante	0.2					
INT	INTERNO				0.130		0
	TOTALE	30.8			4.308		107

g. PV3 - Parete divisoria

Le pareti divisorie al piano terra PV1 sono composte da un unico strato di cemento cellulare pitturato:

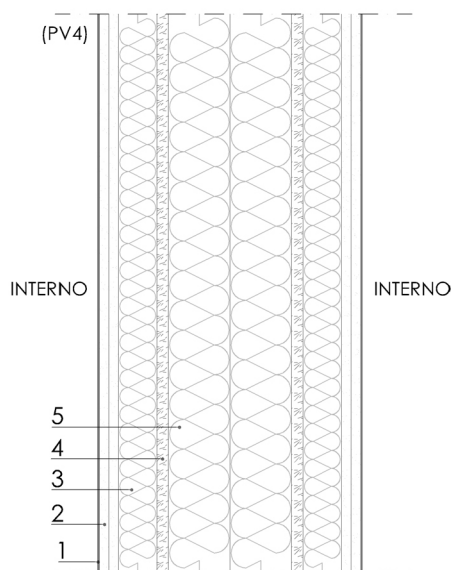
- spessore complessivo di 15.4 cm,
- massa superficiale $M_s = 73 \text{ kg/m}^2$
- potere fonoisolante $R'w = \text{dB}$



h. PV4 - Muro di confine

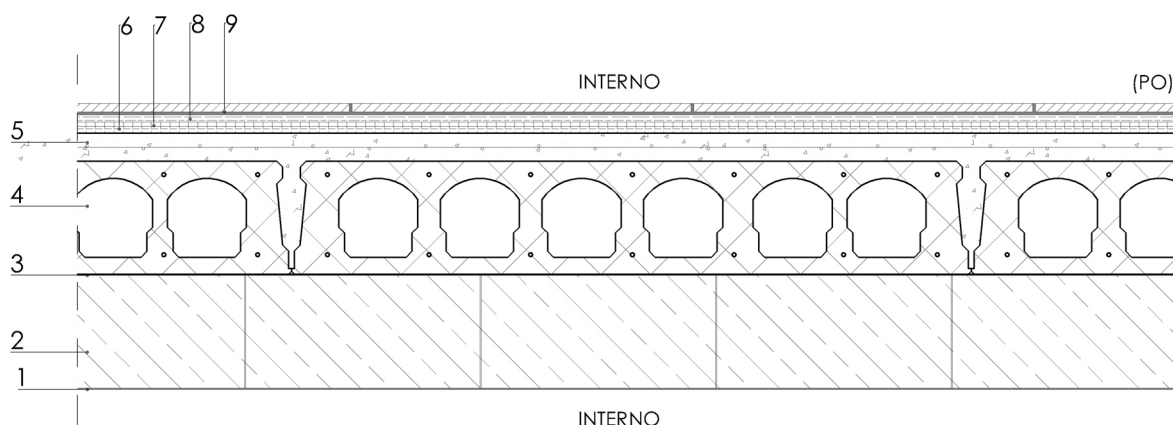
SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	103	kg/m ²
Resistenza termica	R_T	7.519	m ² K/W
Trasmittanza	U_T	0.133	W/m ² K
Attenuazione (<0.15)	f_{cl}	0.205	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	13.62	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{is}	0.027	W/m ² K
Indice potere fonoisolante	R'_{w}	38	dB
Resistenza al fuoco	REI		



N°	DESCRIZIONE	SPESSORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m ² K/W	kg/m ³	kg/m ²
INT	INTERNO				0.130		0
1	Idropittura traspirante	0.2					
2	Lastre in cartongesso	1.25	0.250	1000	0.050	900	11.25
2	Lastre in cartongesso	1.25	0.250	1000	0.050	900	11.25
3	Isolante minerale in lana di roccia	5	0.038	840	1.316	175	8.75
4	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.31
5	Isolante minerale in lana di roccia	8	0.038	840	2.105	175	14.00
5	Isolante minerale in lana di roccia	8	0.038	840	2.105	175	14.00
4	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.31
3	Isolante minerale in lana di roccia	5	0.038	840	1.316	175	8.75
2	Lastre in cartongesso	1.25	0.250	1000	0.050	900	11.25
2	Lastre in cartongesso	1.25	0.250	1000	0.050	900	11.25
1	Idropittura traspirante	0.2					
INT	INTERNO				0.130		0
	TOTALE	34			7.519		103

i. PO - Soletta interpiano

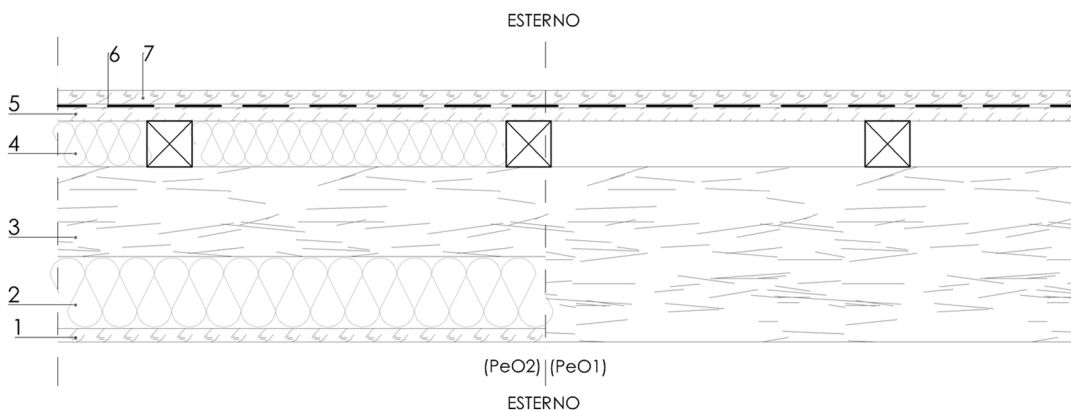


SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	391	kg/m ²
Resistenza termica	R_T	5.722	m ² K/W
Trasmittanza	U_T	0.175	W/m ² K
Affievolimento (<0.15)	f_{d1}	0.084	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	12.31	ore
Trasmittanza termica periodica	Y_{e0}	0.015	W/m ² K
Indice potere fonoisolante	R'_{w}	55	dB
Resistenza al fuoco	REI	120	

N°	DESCRIZIONE	SPESSORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m ² K/W	kg/m ³	kg/m ²
INF	PIANO INFERIORE				0.100		0
1	Idropittura traspirante	0.2					
2	Isolante minerale solido in blocchi di dim. 39x60 cm	20	0.042	1300	4.762	95	19
3	Collante per isolante	0.2					
4	Solai alveolare prefabbricato in calcestruzzo armato dim. 120 x	20	1.304	200	0.153	1195	239
5	Getto in calcestruzzo con rete elettrosaldata	5	1.800	1000	0.028	2500	125
6	Isolante acustico anticalpestio lastra inferiore	1.1	0.039	1300	0.282	145	1.595
7	Isolante acustico anticalpestio lastra superiore	0.8	0.039	1300	0.192	213	1.598
8	Pannello di gesso armato sagomato calpestabile	1.3	0.120	2700	0.104	420	5.25
9	Rivestimento (ceramica/parquet)	1.5					
SUP	PIANO SUPERIORE				0.100		0
	TOTALE	50			5.722		391

j. PeO1/2 - Soletta balcone senza e con isolamento

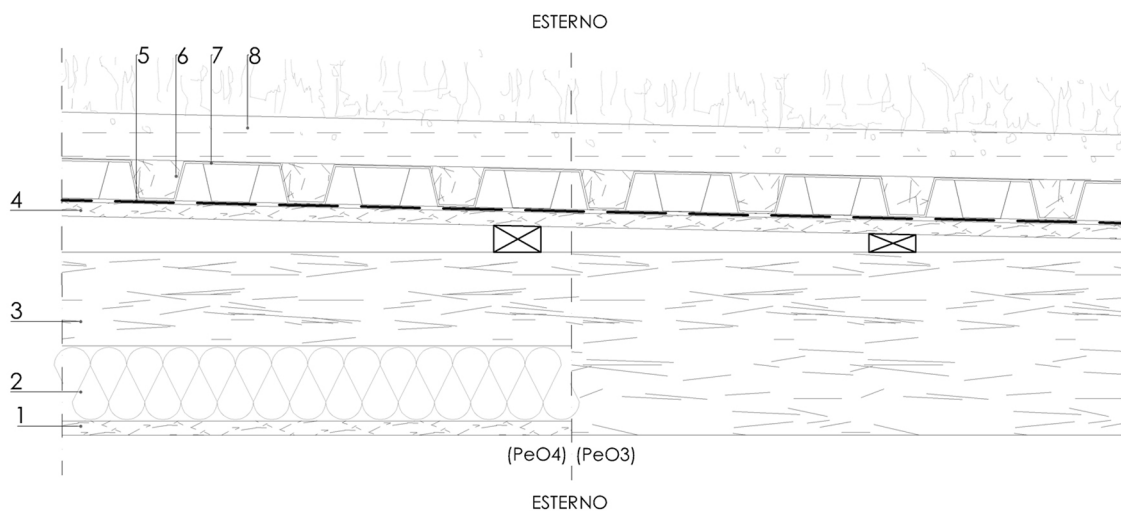


SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	42	kg/m ²
Resistenza termica	R_t	3.986	m ² K/W
Trasmittanza	U_t	0.251	W/m ² K
Attenuazione (<0.15)	f_d	0.827	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	4.22	ore

N°	DESCRIZIONE	SPESSORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m ² K/W	kg/m ³	kg/m ²
EST	ESTERNO				0.040		0
1	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.305
2	Isolante in lana di roccia	8	0.038	840	2.105	175	14.000
3	Camera d'aria	10	0.026	1000	0.160	1	0.100
4	Isolante in lana di roccia	5	0.038	840	1.316	175	8.750
5	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.305
6	Membrana impermeabilizzante traspirante						0.130
7	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.305
EST	ESTERNO				0.040		0
	TOTALE	26.9			3.986		42

k. PeO3/4 - Copertura balcone senza e con isolamento

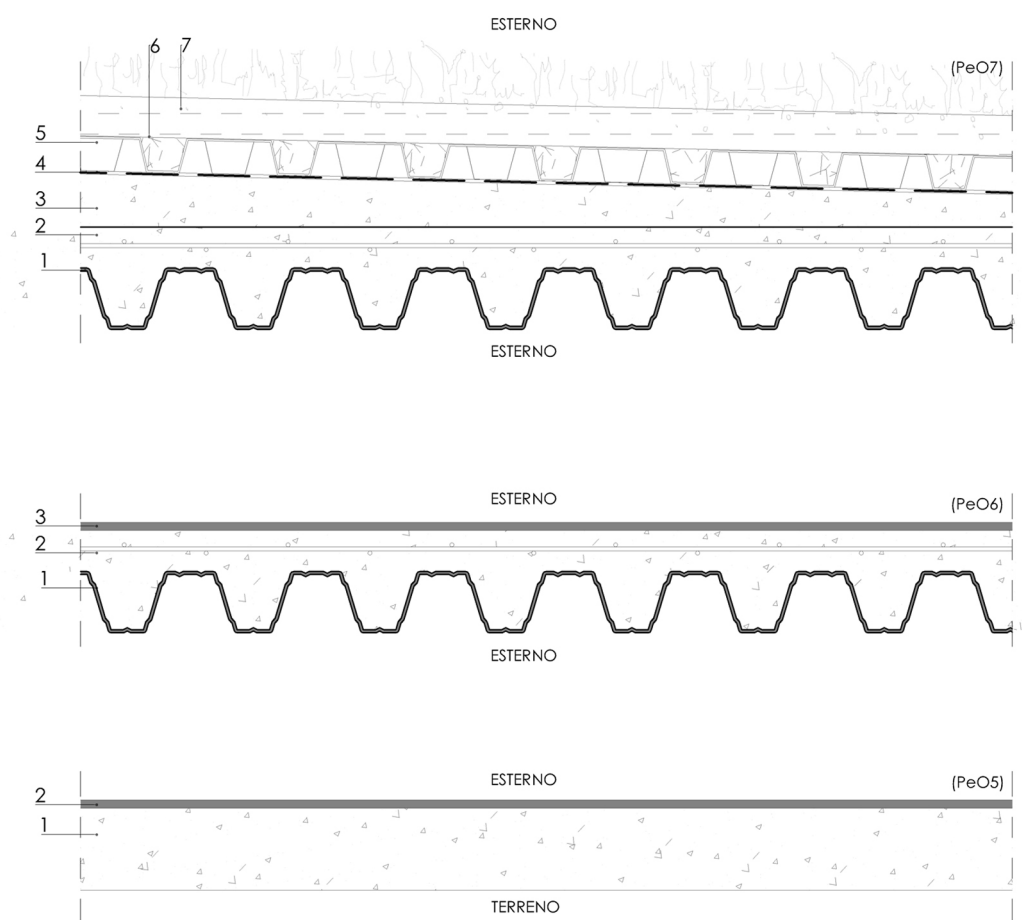


SINTESI PERFORMANCE

Massa superficiale	M_s	51	kg/m ²
Resistenza termica	R_t	2.979	m ² K/W
Trasmittanza	U_t	0.336	W/m ² K
Attenuazione (<0.15)	f_d	0.027	
Sfasamento (> 12h)	ϕ	14.33	ore

N°	DESCRIZIONE	SPESSORE	CONDUTTIVITA' TERMICA	CALORE SPECIFICO	RESISTENZA TERMICA	DENSITA'	MASSA SUPERFICIALE
		cm	W/mK	J/kgK	m ² K/W	kg/m ³	kg/m ²
EST	ESTERNO				0.040		0
1	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.305
2	Isolante in lana di roccia	8	0.038	840	2.105	175	14.000
3	Camera d'aria	10	0.026	1000	0.160	1	0.100
4	Pannello in legno pressato	1.3	0.120	1000	0.108	485	6.305
5	Membrana impermeabilizzante traspirante						0.130
6	Elemento drenante	3					
7	Tessuto di filtro	0.2					
8	Terra	5.0	0.120	1000	0.417	485	24.250
EST	ESTERNO				0.040		0
	TOTALE	28.8			2.979		51

I. Stratigrafie delle torre di circolazione



N°	DESCRIZIONE	SPESSORE
PeO5		cm
1	Magrone di calcestruzzo	10
2	Cemento lucido	1
	TOTALE	11
PeO6		cm
1	Lamiera grecata	7
2	Getto di calcestruzzo con rete elettrosaldata	5
3	Cemento lucido	1
	TOTALE	13
PeO7		cm
1	Lamiera grecata	7
2	Getto di calcestruzzo con rete elettrosaldata	5
3	Malta in pendenza	5
4	Membrana impermeabilizzante traspirante	
5	Elemento drenante	3
6	Tessuto di filtro	0
7	Terra	5
	TOTALE	25

m. Tavole di dettagli allegati

Tav.III.1 - Sezione e pianta del muro

Tav.III.2 - Sezione copertura

Tav.III.3 - Nodo 1.1

Tav.III.4 - Nodo 1.2

Tav.III.5 - Nodo 2.1

Tav.III.6 - Sezione torre e ala

Tav.III.7 - Nodi 3.1 e 3.2

Tav.III.8 - Nodo 3.3

Tav.III.9 - Nodo 3.4

D. Verifica dell'accessibilità

L'insieme dell'edificio si deve di essere accessibile a ciascuno qualsiasi la facilità di movimento. Per quello, piuttosto di progettare un numero fisso di appartamenti a più alta accessibilità, è stato scelto di eliminare tutte le barriere architettoniche per ogni tipo di appartamento. Che l'utente sia in difficoltà di mobilità, che lo diviene o che riceve una persona a mobilità ridotta, nessuna barriera dovrebbero esistere.

La base normative seguita è il Decreto Ministeriale n.236 del 14 giugno 1989 - Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità.

a. Porte

Le porte d'accesso, le porte interne agli edifici battente e scorrevole, le porte-finestre, tutte hanno una larghezza minima di 100 cm quando a normativa richiede 80 cm per le porte di accesso e 75 cm per le altre.

b. Servizi igienici

Nelle tavole delle piante si può vedere un bagno tradizionale con bagno e lavatrice che non facilitano l'accessibilità. Però la dimensione totale del bagno permette secondo la voglia dell'utente di eliminare tutte le barriere. Per la tipologia T4, nel bagno vicino all'entrata, se si vuole un'accessibilità superiore si può facilmente spostare le parete a stratificazione a secco per aumentare il spazio, o eliminare la doccia.

In ogni caso, si possono rispettare i limiti della normativa:

- Lo spazio necessario all'accostamento e al trasferimento laterale dalla sedia a ruote alla tazza wc e al bidet, ove previsto, deve essere minimo 100 cm misurati dall'asse dell'apparecchio sanitario;
- lo spazio necessario all'accostamento frontale della sedia a ruote al lavabo deve essere minimo di 80 cm misurati dal bordo anteriore del lavabo.

c. Cucina

Uno spazio libero sotto il lavello e l'apparecchio di cottura è possibile senza eliminare nessun elemento di base della cucina. Si verificano dunque le richieste della normativa:

- Per garantire la manovra e l'uso agevole del lavello e dell'apparecchio di cottura, questi devono essere previsti con sottostante spazio libero per un'altezza minima di cm 70 dal calpestio.

d. Corridoi

Ogni corridoi hanno una larghezza di 110 cm, che corrisponde al limite della normativa:

- La larghezza minima è di 100 cm. Prevedere un allargamento ogni 10m per l'inversione di marcia della sedia a ruote.

e. Torre di circolazione

Le scale hanno una larghezza di 1.20 m per una pedata di 30 cm. Ogni piano ha una superficie sufficiente larga per permettere l'incontro di più persone senza incombro.

Il vano ascensore ha un spazio libero di 1.60 m x 1.60 m sufficiente per mettere un ascensore che verifica la normativa:

- Le scale ad uso pubblico devono avere una larghezza minima di 120 cm (pedata 30 cm).
- Negli edifici residenziali di nuova edificazione l'ascensore deve avere le seguenti caratteristiche:
 - cabina di dimensioni minime di 1,30 m di profondità e 0,95 m di larghezza;
 - porta con luce netta minima di 0,80 m posta sul lato corto;
 - piattaforma minima di distribuzione anteriormente alla porta della cabina di 1,50 x 1,50 m.

f. *Indicazione del percorso*

Si propone di più di aggiungere degli elementi in rilievo in modo di aiutare le persone con difficoltà visuale a identificare dove sono:

- elementi di rilievo sulla pavimentazione delle corte verso le entrate delle torre
- elementi di rilievo sul corrimano e al suolo delle torre in modo di indicare il piano, dove si trovano scale, ascensore e entrata degli alloggi.

Tav.III.10 - Soluzione di bagni senza barriera

E. **Verifica antincendio**

Il nostro progetto, prevalentemente residenziale (uffici e negozi al piano terra) deve seguire il Decreto Ministero dell'interno 16 maggio 1987, n. 246 - Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione. Non ci sono normative per gli edifici di altezza inferiore a 12 m, di più visto che abbiamo scelto la stessa tipologia costruttiva per l'insieme del complesso, si considera qui dovere valutare i requisiti antincendio per un edificio di altezza 16 m (altezza massima del complesso).

I requisiti si interessano a solo le parti comuni e non ci sono misure di sicurezza per l'interno degli appartamenti

a. *Requisiti costruttivi*

Per il nostro progetto, con un'altezza compresa tra 12 e 24 m, ci sono i requisiti seguenti :

- massima superficie del compartimento: 8000 m²
- massima superficie di competenza di ogni scala per piano: 500m²
- elementi di suddivisione tra i compartimenti e per le porte : REI 60

Le superficie del nostro progetto sono ben inferiori ai limiti richiesti. Di più, la resistenza al fuoco elevata dei materiali scelti per la costruzione, danno delle parete esterne e delle solette tra piano con un REI 120. Le porte di entrate devono però essere preso con un REI 60.

b. *Resistenza al fuoco alle strutture*

Per gli elementi strutturali, si rinvia alla circolare del Ministero dell'interno n. 91 del 14/09/1961. Con la nostra altezza, è richiesto un REI 90 per la struttura.

L'Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici da un estimo di 240 x 240 mm per una sezione in calcestruzzo armato che verifica il REI90. Però il grado di protezione delle strutture di acciaio varia secondo la qualità e la quantità dei materiali combustibili presenti nei singoli locali. Con la nostra scelta di materiali ad alta resistenza al fuoco, una valutazione più

accurata potrebbe dare delle dimensioni meno vincolanti. Di più c'è sempre la possibilità di aggiungere un rivestimento protettivo per aumentare la resistenza al fuoco (per esempio un vernice intumescenti). Non si limiterà allora a queste dimensioni per il progetto strutturale, per quello cercheremo a diminuire al massimo le dimensioni delle trave e pilastri.

c. Accesso all'area

Gli accessi all'area devono avere i seguenti requisiti minimi:

- larghezza: 3,50 m;
- altezza libera: 4,00 m;
- raggio di volta: 13,00 m;
- pendenza: non superiore al 10%;
- resistenza al carico: almeno 20 tonnellate.

Le strade al nord, ovest e sud e le corte interne si dà l'accesso per i vigili del fuoco ai differenti blocchi di abitazione. La presenza di balconi su due facciate per ogni appartamento facilita un eventuale accesso dagli vigili. Un'attenzione particolare alla sistemazione degli spazi verdi deve però essere fatta, soprattutto per la corte al mezzo del complesso con un bordo che si deve essere carrozzabile.

d. Scale

Le nostre scale si trovano completamente all'esterno. Per tale scale si devono rispettare:

- una larghezza di 1.05 m
- dei materiali di classe 0 di reazione al fuoco
- per la parete esterna su cui è collocata la scala, un REI 60 per una larghezza pari alla proiezione della scala incrementata di 2.50 m per ogni lato.

Le nostre torri di circolazione sono in acciaio e calcestruzzo con delle scale di dimensione 1.20 m. Di più tutte le pareti esterne dei blocchi di abitazione hanno un REI 120.

Visto la regolarità del nostro complesso, si presenta un riassunto dei requisiti antincendio per un piano tipo (secondo piano) nella tavola in allegato:

Tav.III.11 - Verifica antincendio

2. PROGETTO ILLUMINOTECNICO

A. Introduzione

La luce naturale è uno dei fattori di comfort i più importanti per l'utente. Il suo sfruttamento corretto permette un uso migliore dello spazio, specialmente considerando la luce naturale come fonte gratuita d'illuminamento. Con una buona gestione della luce naturale si crea uno spazio confortevole per l'utente. Le fonti di luce naturale sono la luce diretta dal sole, la luce proveniente dalla volta celeste, e la luce riflessa sulle superficie esterne. Con un'intensità d'illuminazione che varia nello spazio e nello tempo, la luce naturale permette di capire meglio l'ambiente e di rendersi conto della corsa del tempo. Le ombre e le proprietà cromatiche della luce aggiungono alla serie di esperienze vissute all'interno di uno spazio.

Il primo indicatore da verificare è il RAI, rapporto area illuminante. Si calcola come un percentuale, ovvero il rapporto tra la superficie delle parti vetrate sopra la superficie della stanza. Nel Regolamento locale di igiene per la regione Lombardia e quindi per il nostro progetto, deve essere superiore a 12,5%, ovvero 0,125. Questo rapporto è già stato verificato per ogni appartamento tipo, valutando quindi l'intera parte residenziale dell'edificio, nelle tavole II.9, II.10, e II.11.

Ma questo indicatore non basta per valutare il comfort visivo di un utente. Il FLD, fattore di luce diurna, rappresenta il percentuale dell'illuminamento interno. È il rapporto tra l'illuminamento in un punto posto su una superficie orizzontale all'interno dell'ambiente considerato e l'illuminamento E_0 nello stesso momento in un punto posto su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste senza irraggiamento solare diretto.

Il FLD ha tre componenti : quella dovuta al cielo visibile, quella dovuta alle riflessioni esterne, e quella dovuta alle riflessioni interne.

Nella norma, un FLD inferiore a 1% non è accettabile, da 1% a 2% è accettabile, è preferibile tra 2% e 5%, e sopra di 5% è ideale per lavori che non necessitano l'uso di un computer (è troppo luminoso per lavori con il computer).

Per una superficie, si calcola il fattore medio di luce diurna FLDm, che deve essere superiore a un valore determinato dalla normativa secondo la destinazione d'uso dello spazio. Per uffici con un illuminamento laterale, deve essere superiore a 1% per esempio, quando nel nostro caso, per ognuna stanza di un edificio residenziale, deve essere superiore a 2%. Il fattore di luce diurna si calcola a 0,9m dal pavimento, dalla norma.

In rapporto con il FLD, il valore dell'illuminanza, che valuta la quantità di luce incidente su una superficie è ugualmente importante. In lux, deve essere superiore a un valore determinato dalla norma. I livelli di riferimento sono i seguenti per le zone residenziali :

- soggiorno : 150 - 200 lux
- cucina : 200 - 250 lux
- camere : 100 - 150 lux
- bagno : 100 - 150 lux
- corridoi, scale : 50 - 100 lux
- zona con attività di lettura : 300 lux

Per situare questi valori, un minimo sarebbe circa 20 lux, che permettono di percepire correttamente i lineamenti del volto umano, quando un massimo sarebbe circa 130 000 lux, che è il massimale in estate per la volta celeste.

Per un'uniformità dei livelli d'illuminamento dell'ambiente luminoso, la norma prevede un valore minimo del rapporto tra l'illuminamento minimo e l'illuminamento medio di una superficie : $E_{\min}/E_{\text{med}} \geq 0,8$.

L'ultimo indicatore di comfort visivo di un utente è la Daylight autonomy di una superficie. Questa rappresenta il percentuale di ore sul periodo di un anno in cui il livello minimo d'illuminamento viene garantito con la sola luce naturale.

B. Studio delle ombre

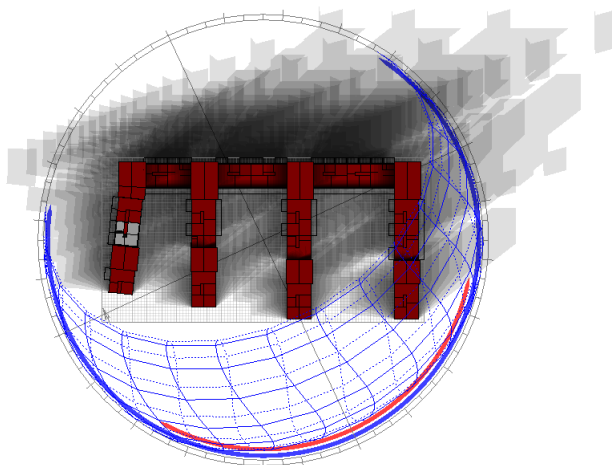


Fig.III.1 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 settembre

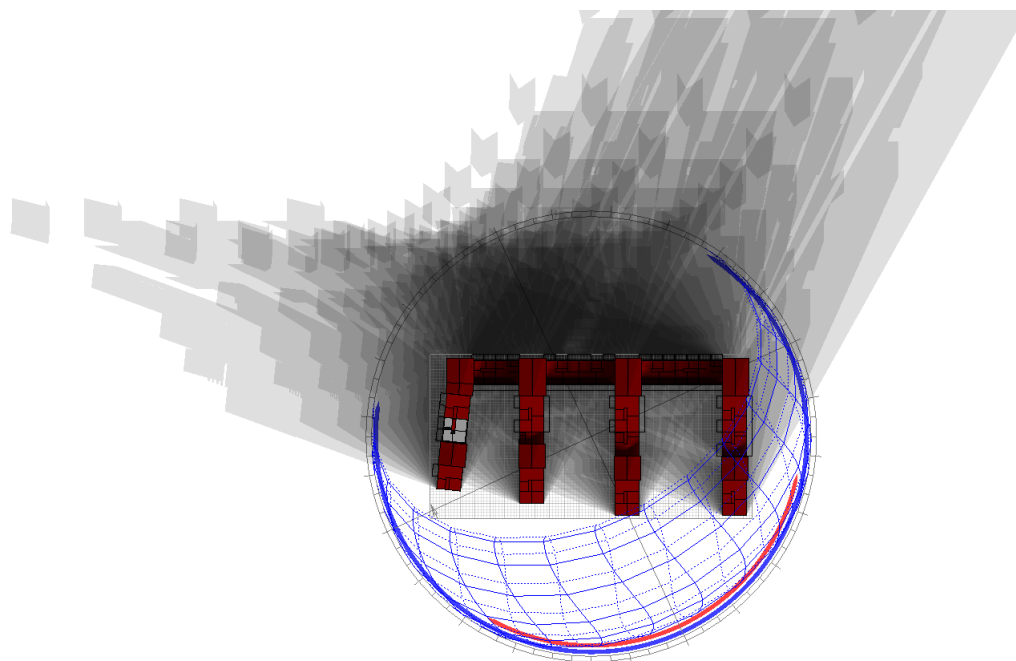


Fig.III.2 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 dicembre

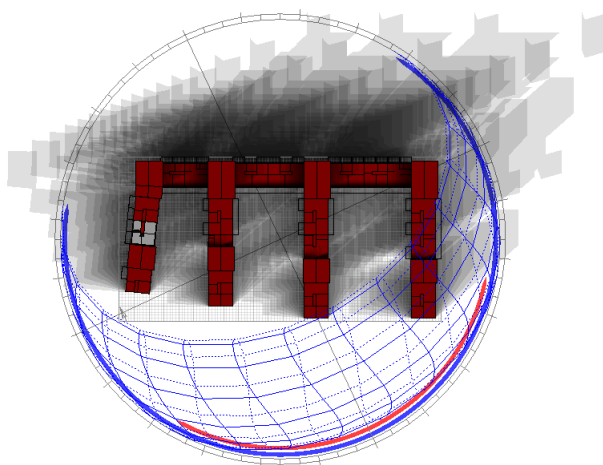


Fig.III.3 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 marzo

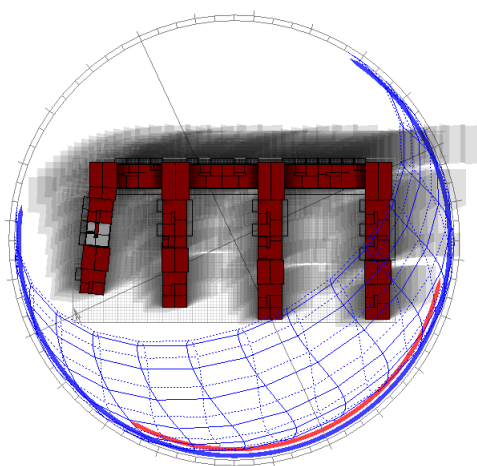


Fig.III.4 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 giugno

Lo studio delle ombre mostra che l'edificio non maschera troppo il sole per le ali dell'edificio, anche in inverno, quando d'estate c'è un pò di ombreggiatura benvenuta per le ali. La parte a nord-est è sempre ombreggiata, quindi abbiamo posto un'attenzione su quella per assicurarsi di valori non troppo bassi rispetto all'illuminamento delle stanze collocate verso questo lato. Questo fenomeno valuta anche la scelta di collocare le torri scale il più a nord possibile, visto che sono molto aperte e sfruttano la luce naturale ovunque.

C. Studio degli indicatori FLD_m e E_m

a. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T2, Ala

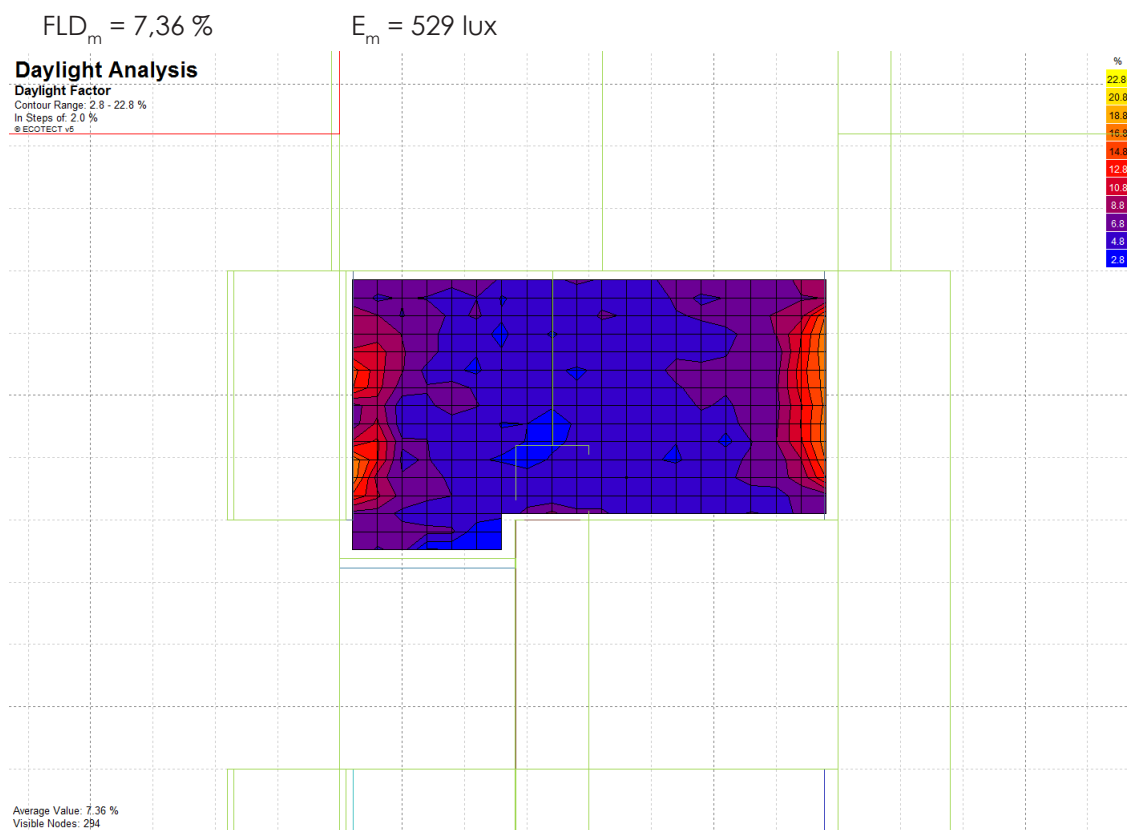


Fig.III.5 - FLD_m - Soggiorno e cucina T2

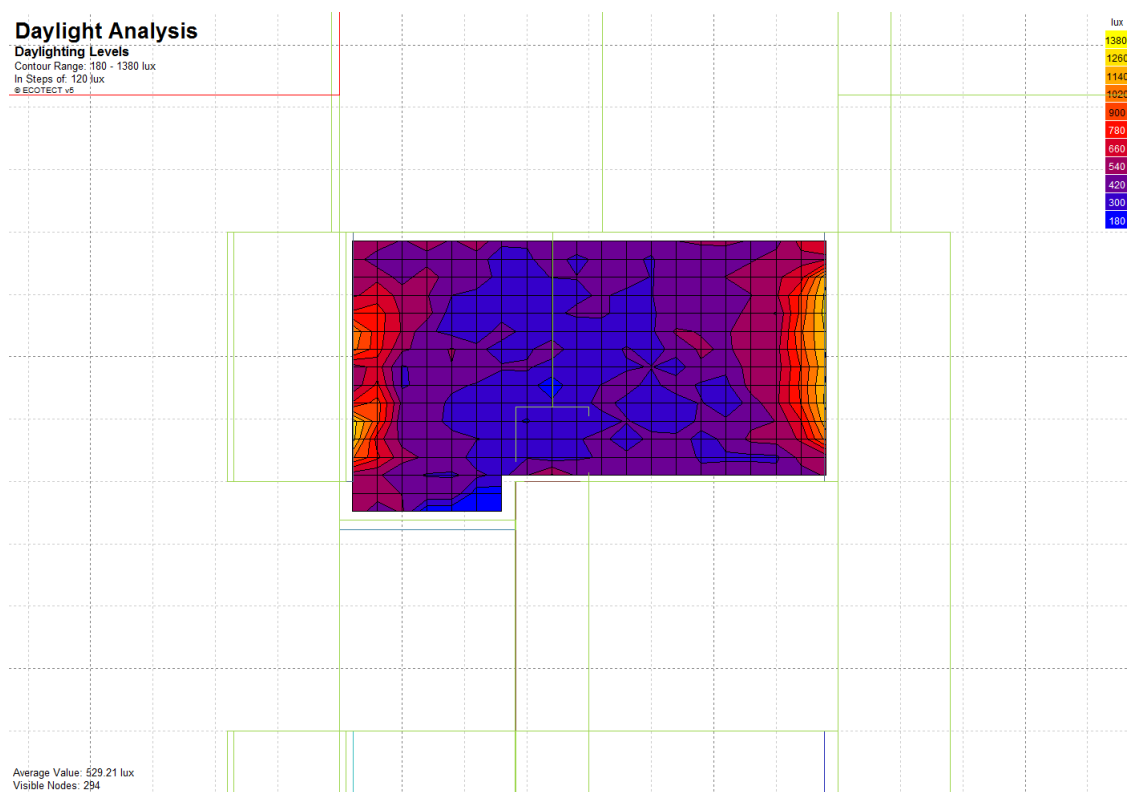


Fig.III.6 - E_m - Soggiorno e cucina T2

b. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T3

$FLD_m = 7,18 \%$

$E_m = 516 \text{ lux}$

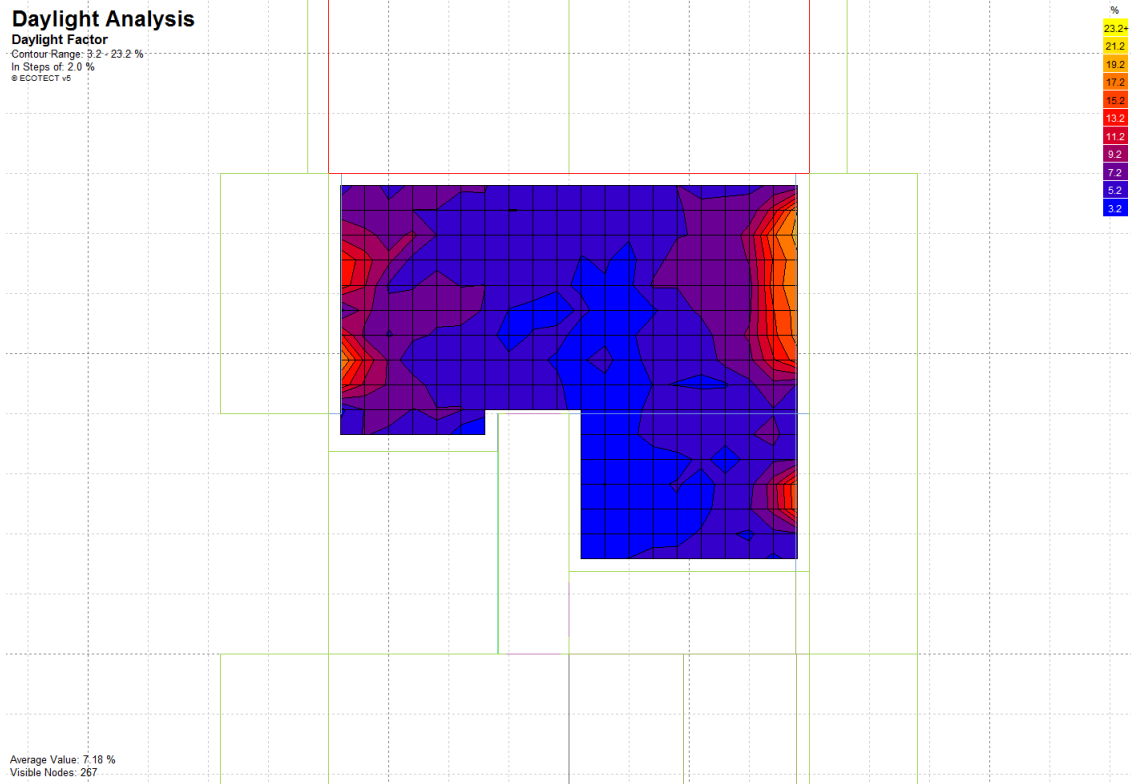


Fig.III.7 - FLDm - Soggiorno e cucina T3



Fig.III.8 - Em - Soggiorno e cucina T3

c. Spazio soggiorno e cucina, appartamento T4

$FLD_m = 6,96 \%$

$E_m = 500 \text{ lux}$

Daylight Analysis

Daylight Factor
 Contour Range: 0.0 - 20.0 %
 In Steps of: 2.0 %
 © ECOTECT v5

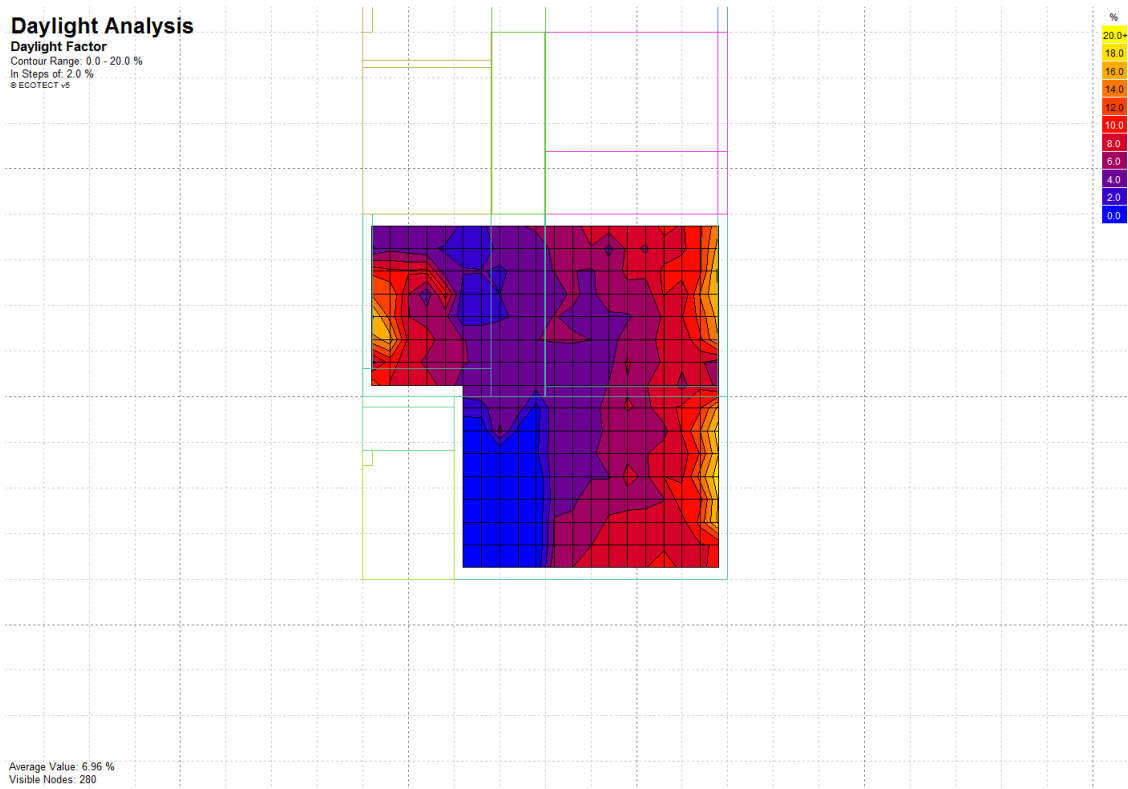


Fig.III.9 - FLDm - Soggiorno e cucina T4

Daylight Analysis

Daylighting Levels
 Contour Range: 0 - 1400 lux
 In Steps of: 140 lux
 © ECOTECT v5

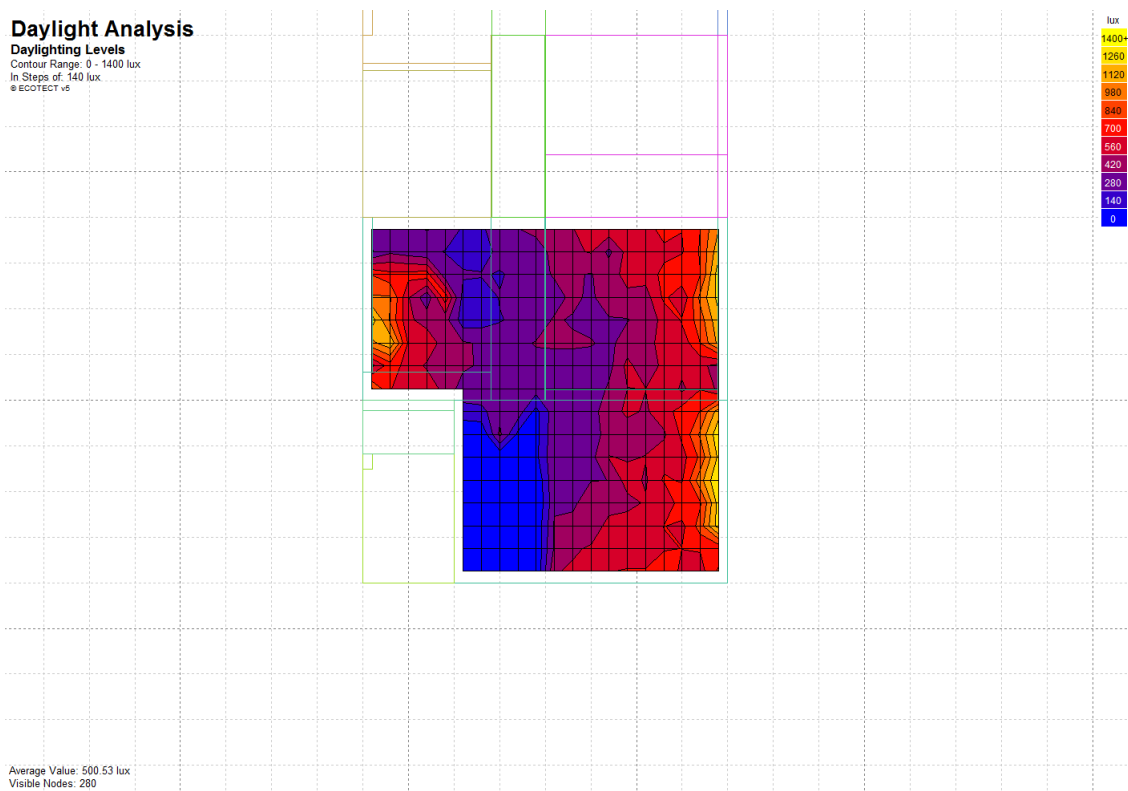


Fig.III.10 - Em - Soggiorno e cucina T4

d. Camera, appartamento T2

$FLD_m = 6,25 \%$

$E_m = 449 \text{ lux}$

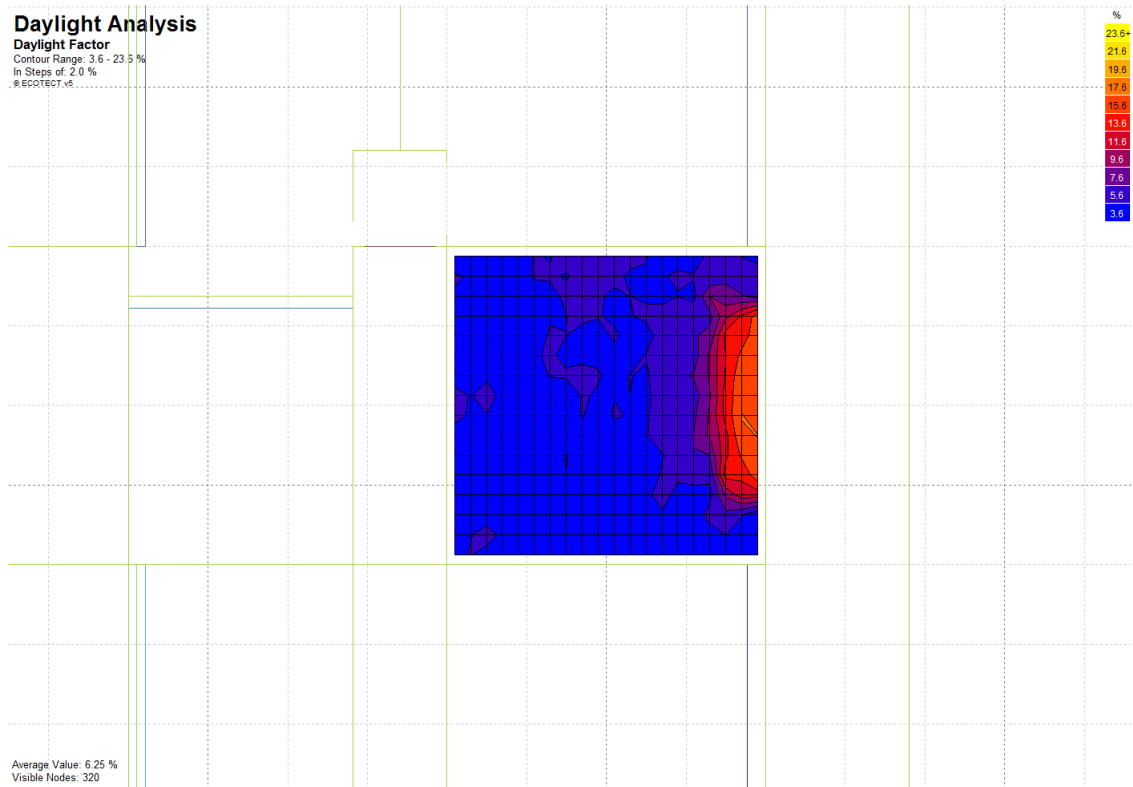


Fig.III.11 - FLDm - Camera T2

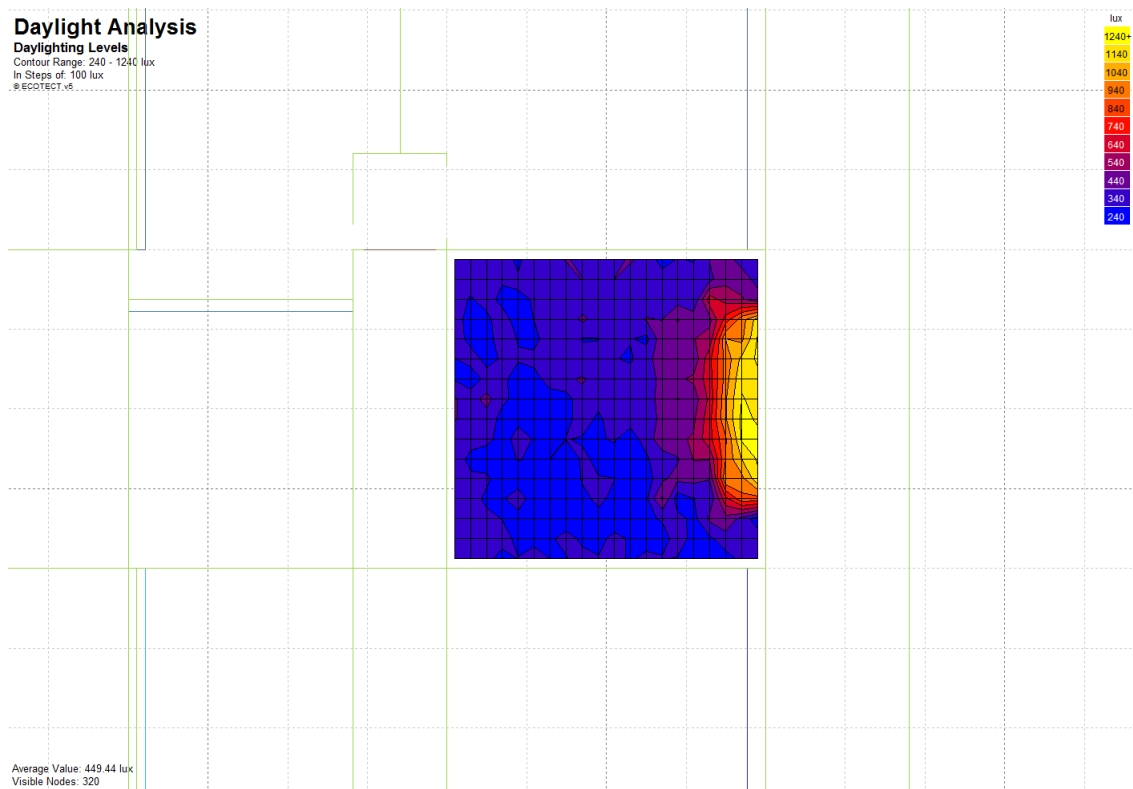


Fig.III.12 - Em - Camera T2

e. Camera matrimoniale, appartamento T3

$FLD_m = 8,71 \%$

$E_m = 626 \text{ lux}$

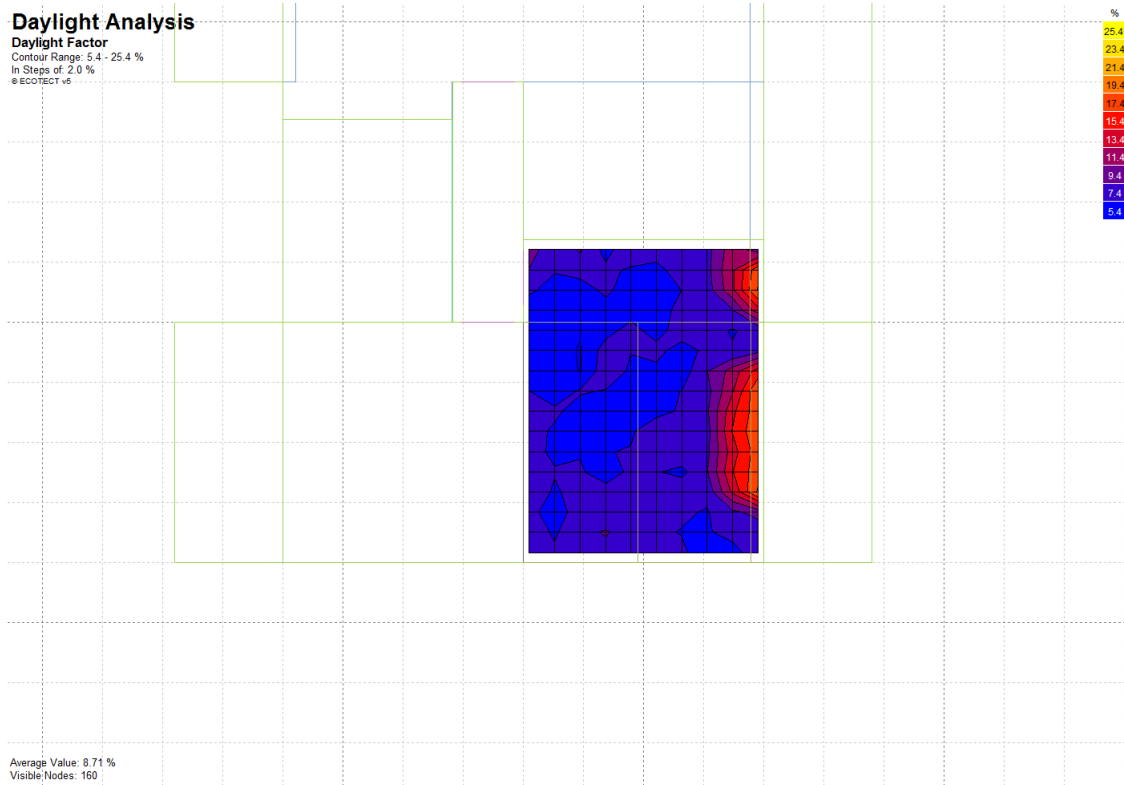


Fig.III.13 - FLDm - Camera matrimoniale T3

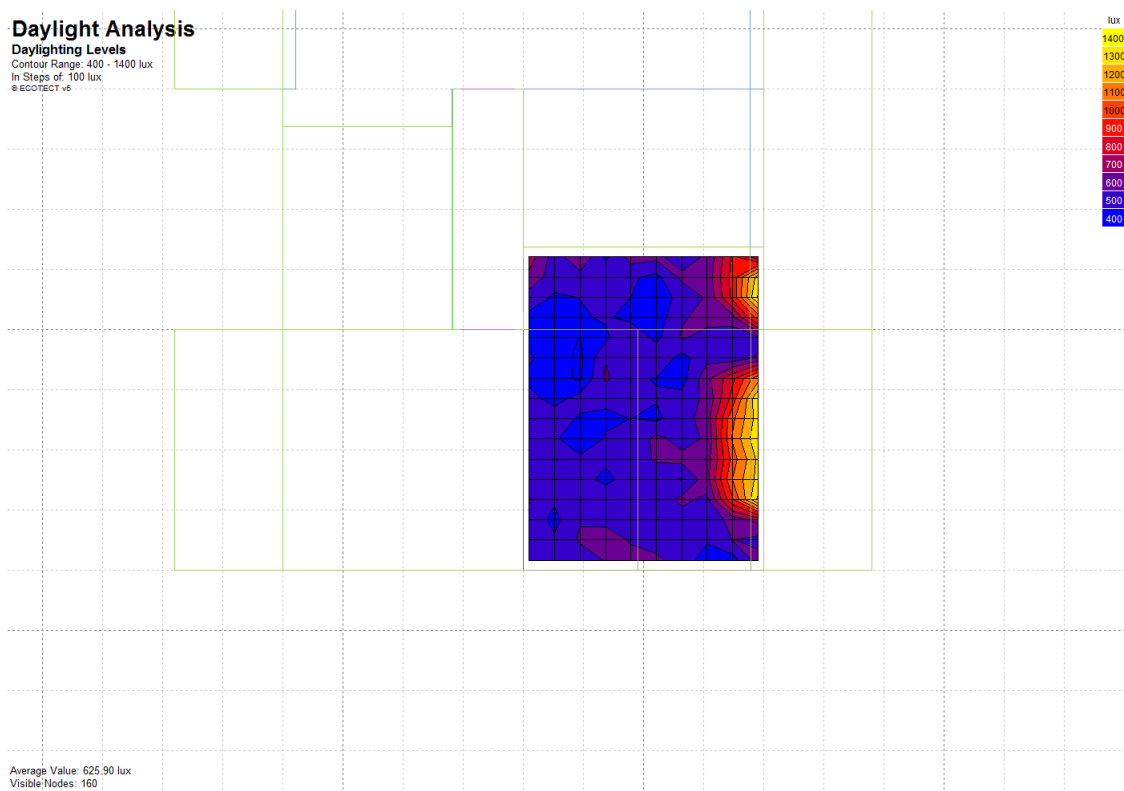


Fig.III.14 - Em - Camera matrimoniale T3

f. Camera, appartamento T3

$FLD_m = 7,10 \%$

$E_m = 510 \text{ lux}$



Fig.III.15 - FLDm - Camera T3



Fig.III.16 - Em - Camera T3

g. Camera matrimoniale, appartamento T4

$FLD_m = 7,86 \%$

$E_m = 564 \text{ lux}$

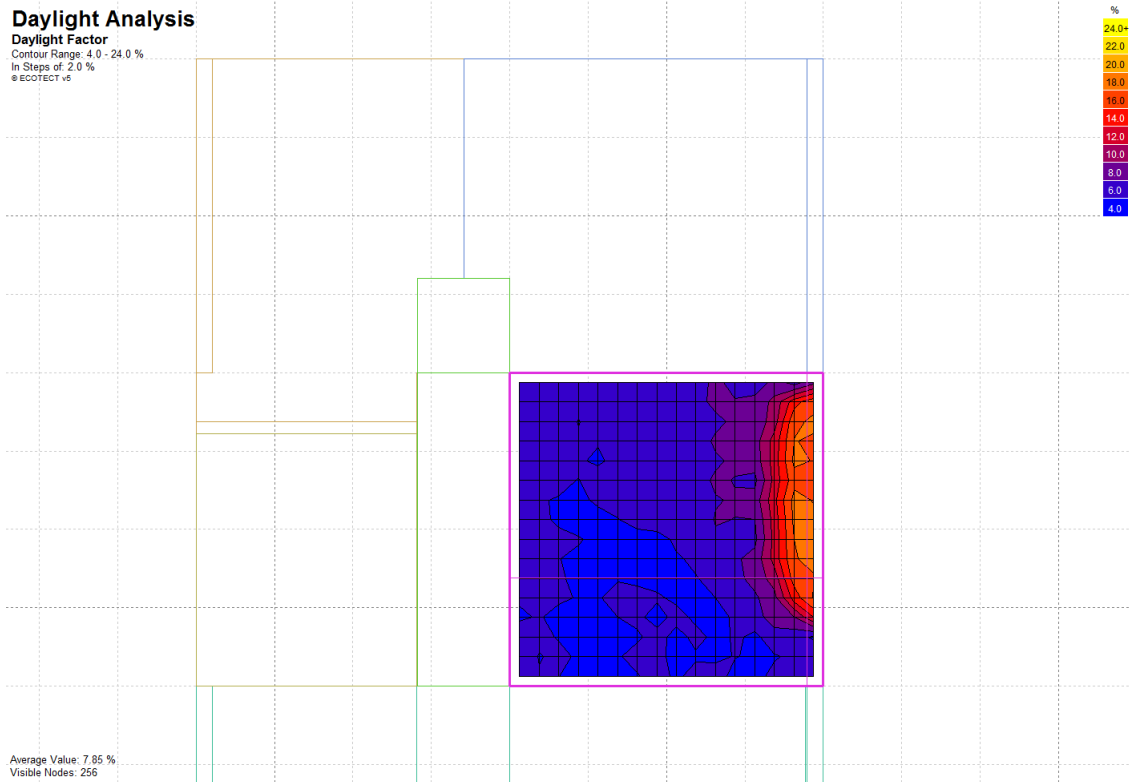


Fig.III.17 - FLDm - Camera matrimoniale T4

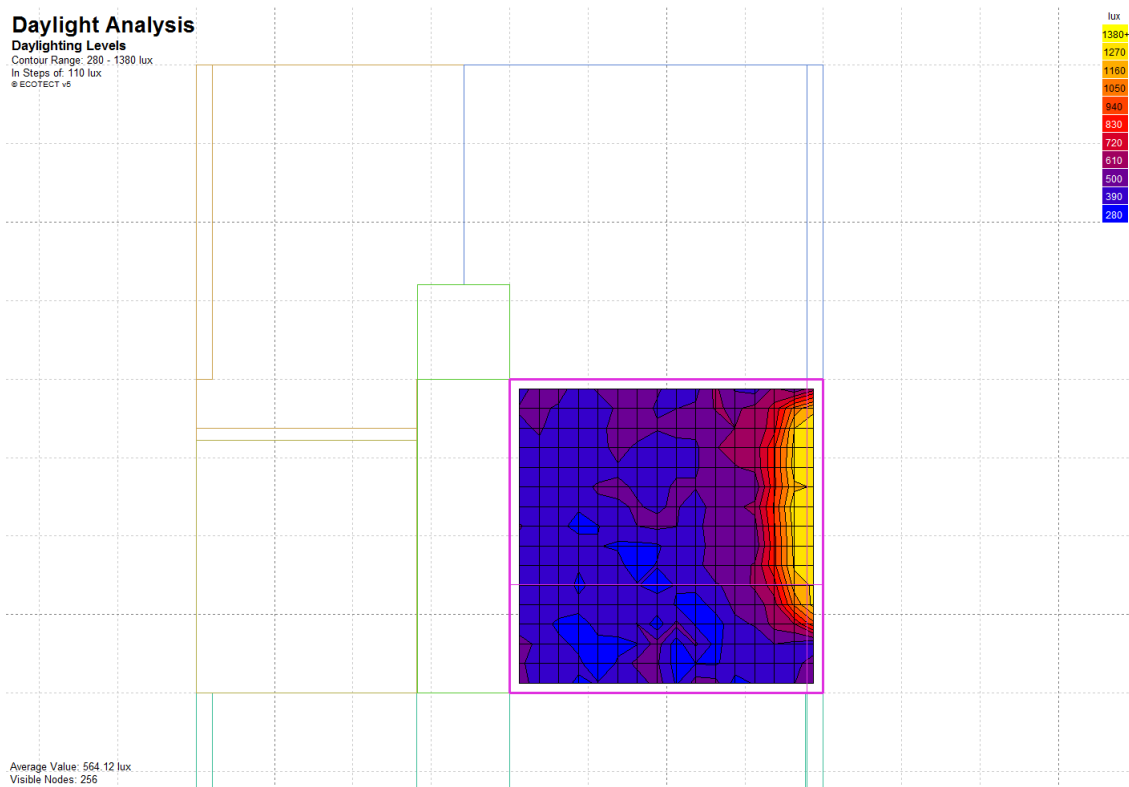


Fig.III.18 - Em - Camera matrimoniale T4

h. Camera singola 1, appartamento T4

$FLD_m = 5,51 \%$

$E_m = 396 \text{ lux}$

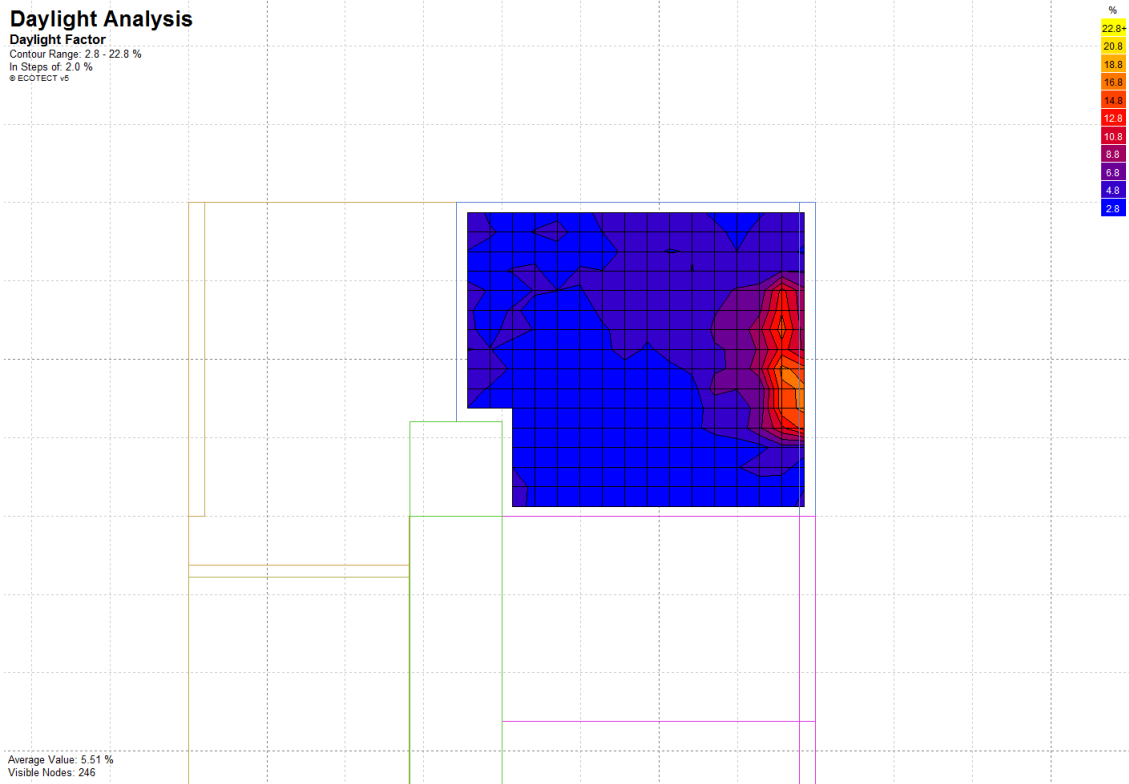


Fig.III.19 - FLDm - Camera 1 T4

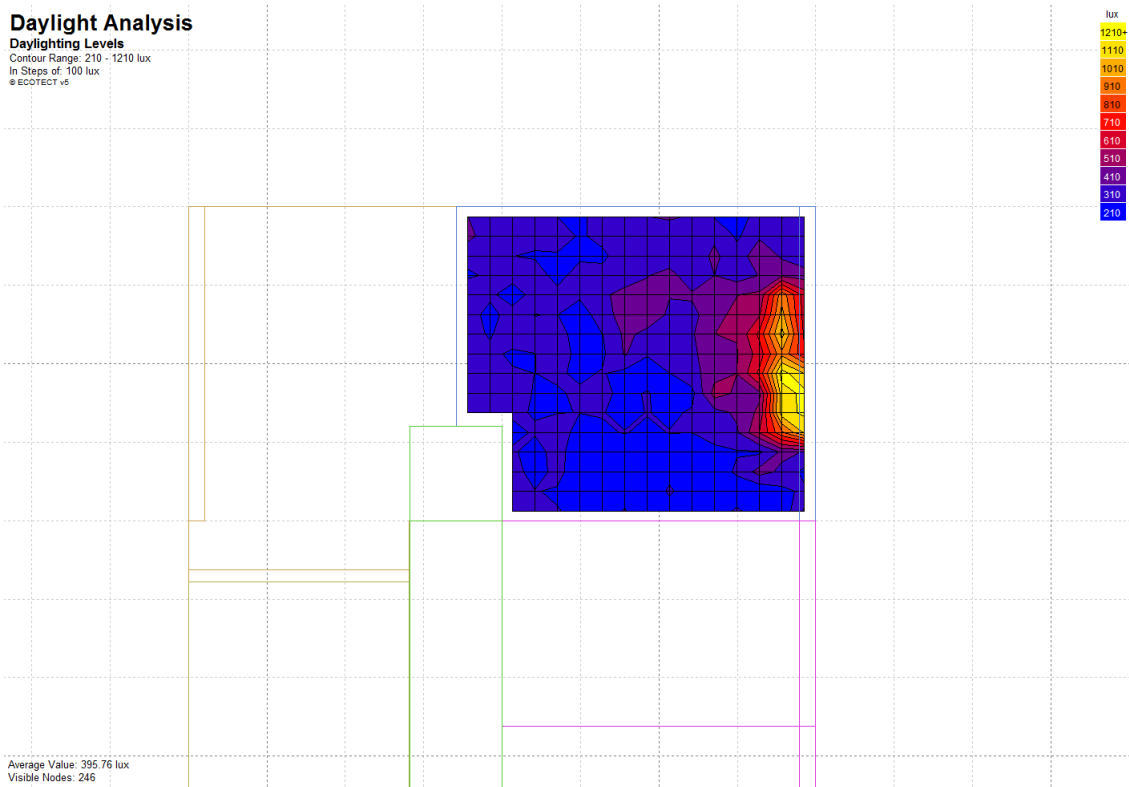


Fig.III.20 - Em - Camera 1 T4

i. Camera singola 2, appartamento T4

$FLD_m = 5,92 \%$

$E_m = 426 \text{ lux}$

Daylight Analysis

Daylight Factor
 Contour Range: 3.2 - 23.2 %
 In Steps of: 2.0 %
 © ECOTECT v5

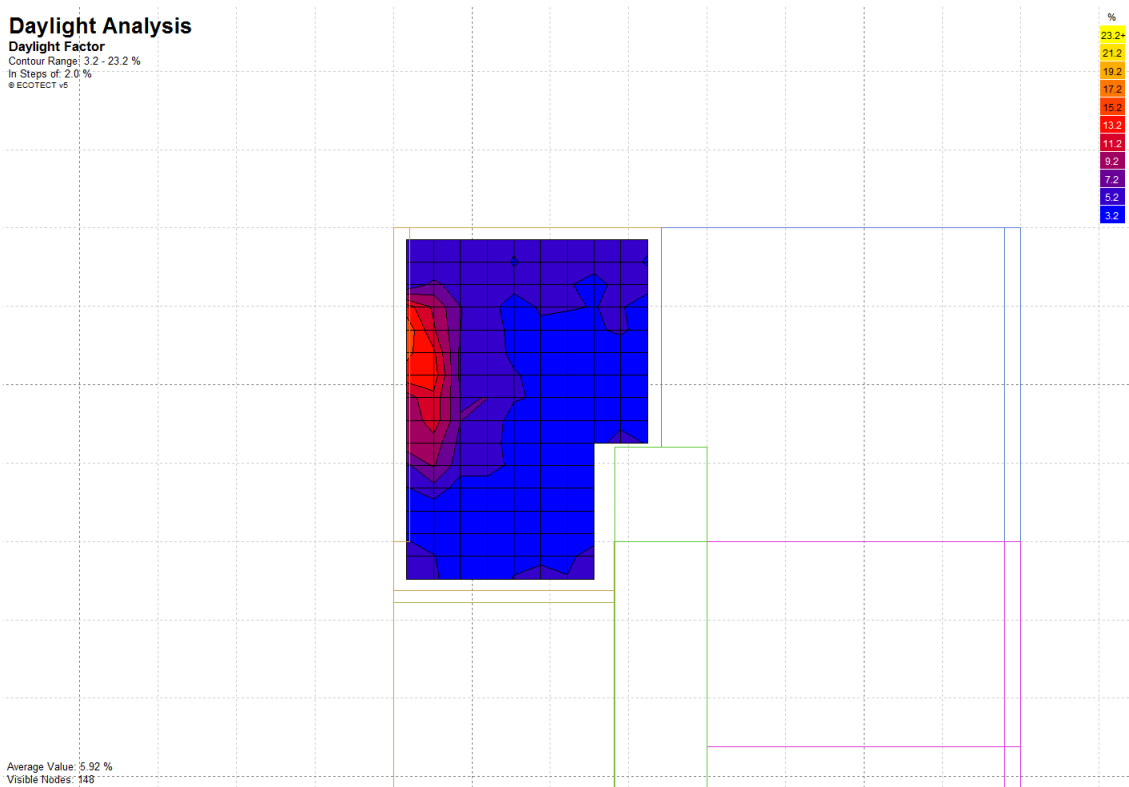


Fig.III.21 - FLDm - Camera 2 T4

Daylight Analysis

Daylighting Levels
 Contour Range: 240 - 1240 lux
 In Steps of: 100 lux
 © ECOTECT v5

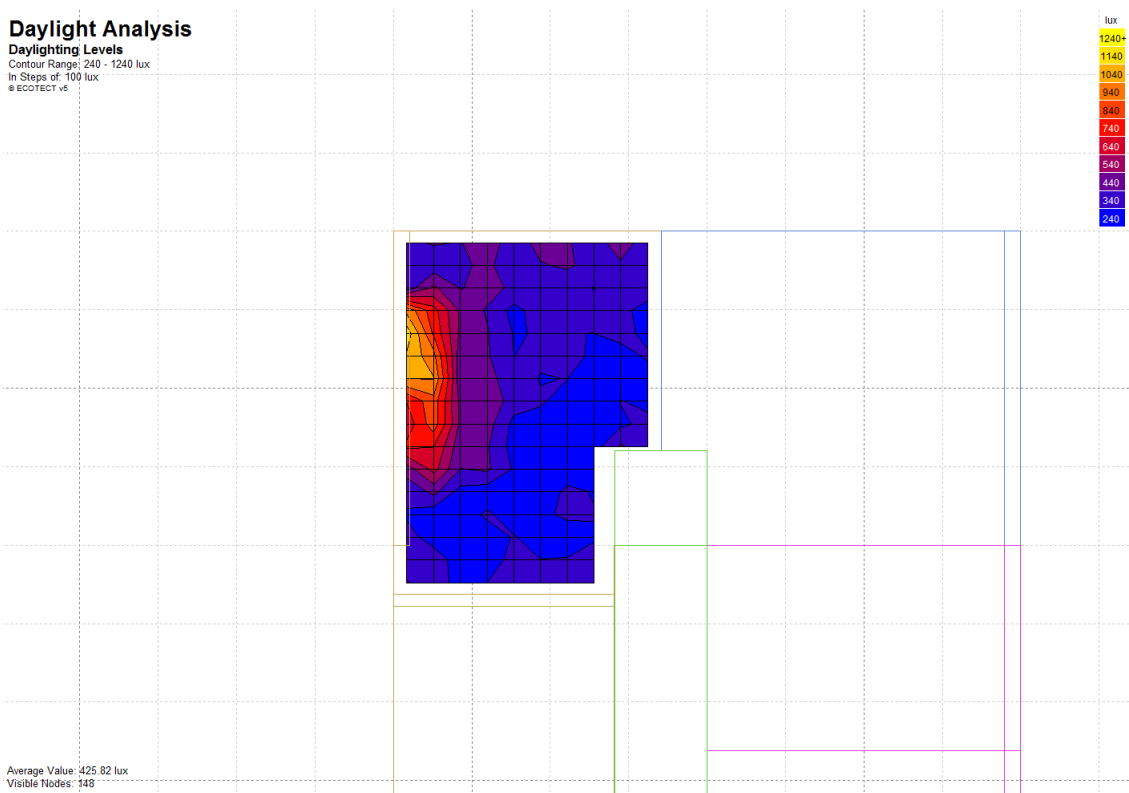


Fig.III.22 - Em - Camera 2 T4

j. Bagno grande, tutti tipi di appartamenti

$FLD_m = 4,93 \%$

$E_m = 534 \text{ lux}$

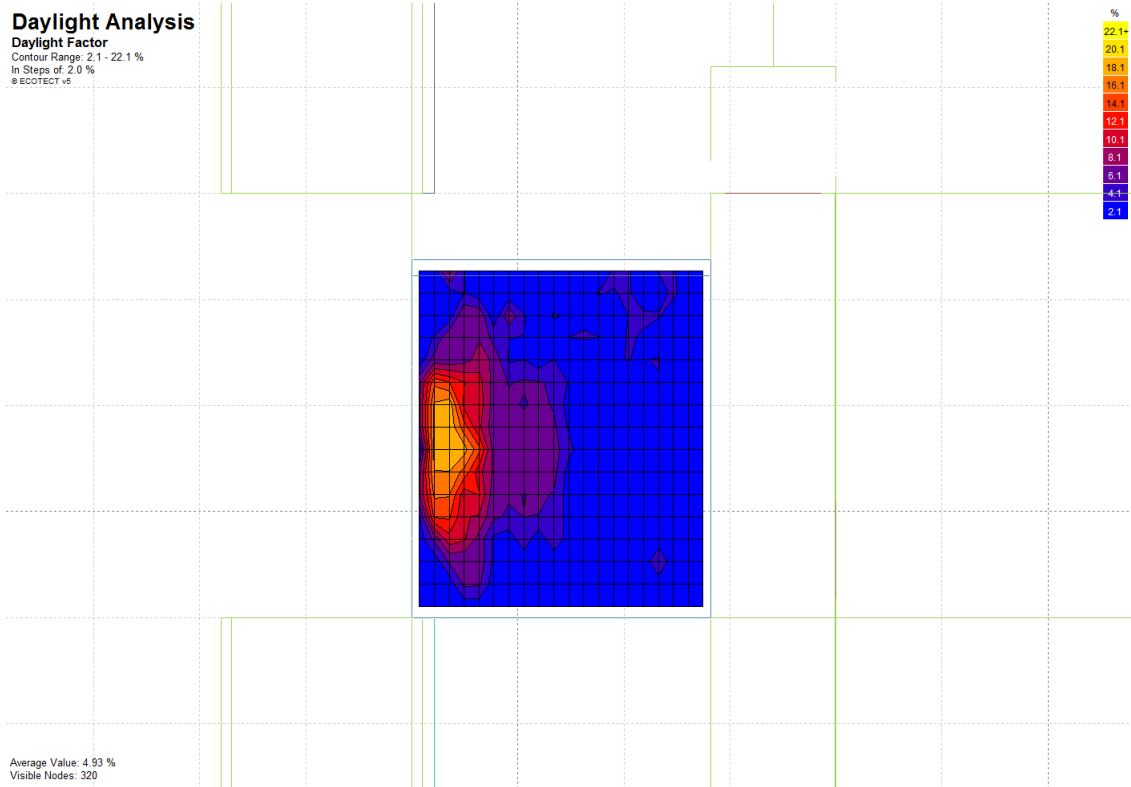


Fig.III.23 - FLDm - Bagno grande

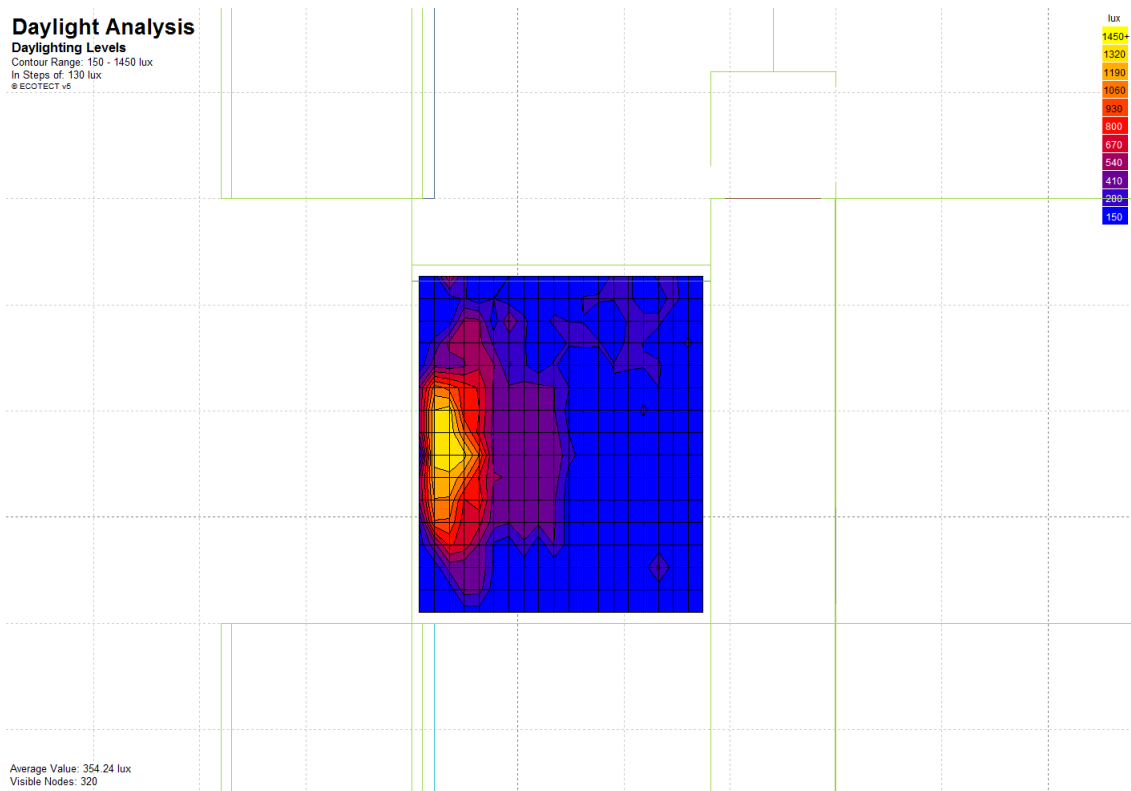


Fig.III.24 - Em - Bagno grande

k. Bagno piccolo, appartamento T4

$FLD_m = 464 \%$

$E_m = 333 \text{ lux}$



Fig.III.25 - FLDm - Bagno piccolo T4

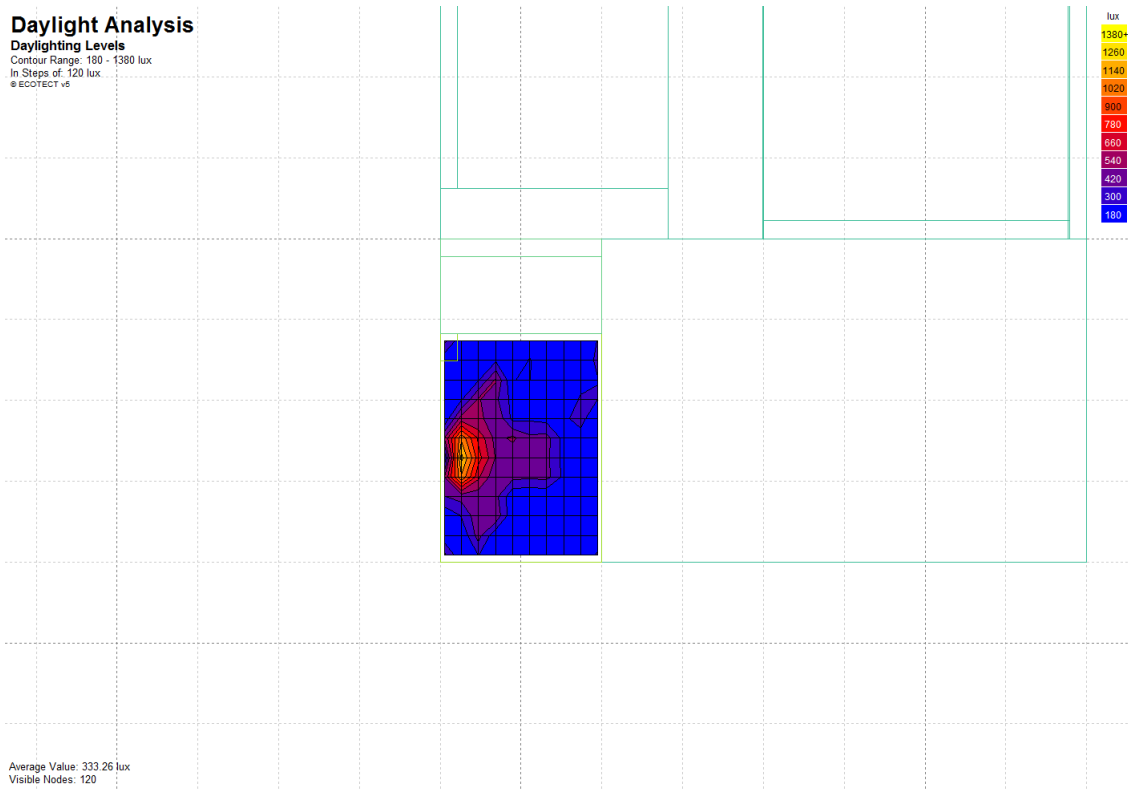


Fig.III.26 - Em - Bagno piccolo T4

I. Antibagno, appartamento T4

$FLD_m = 5,72\%$

$E_m = 411\text{ lux}$

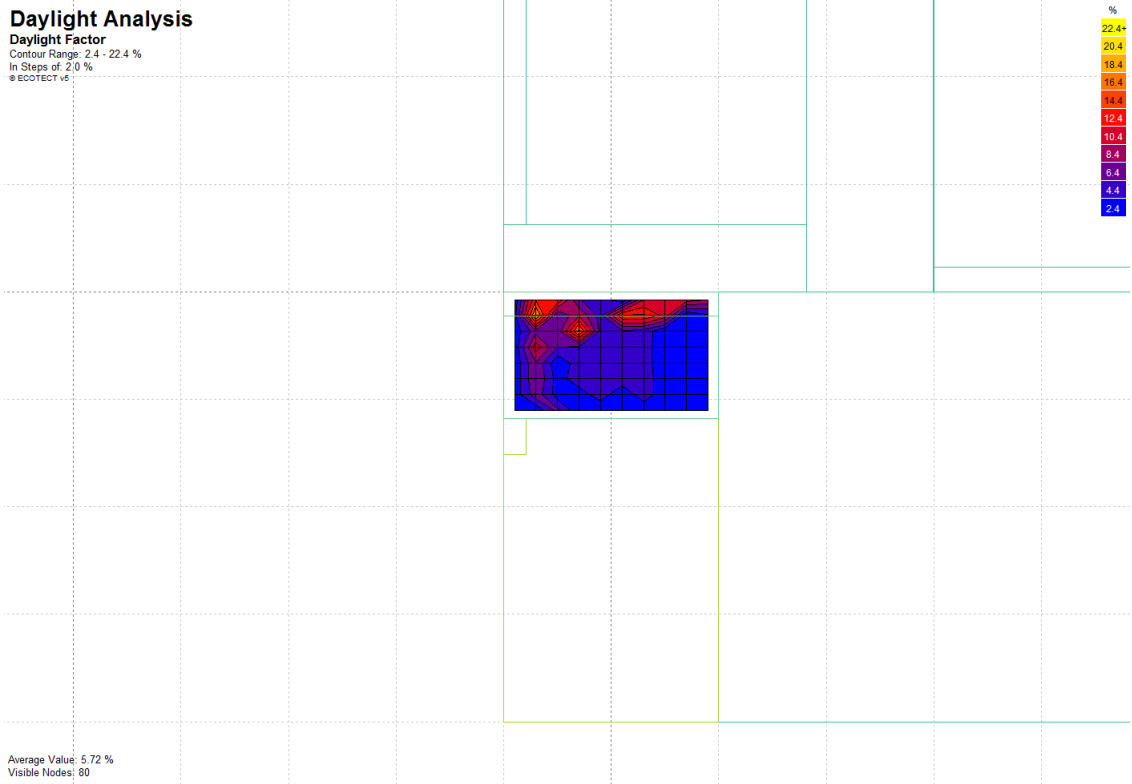


Fig.III.27 - FLDm - Antibagno T4

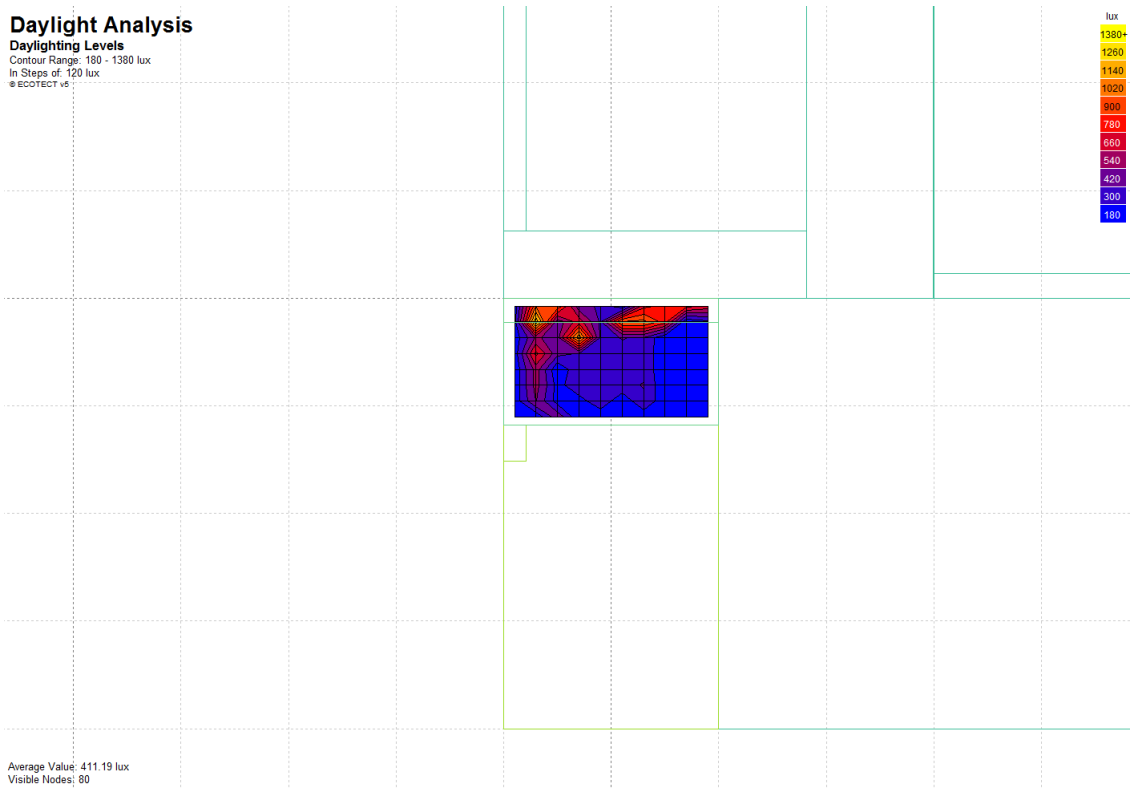


Fig.III.28 - Em - Antibagno T4

m. Conclusioni

La presenza dei balconi i valori di FLD_m e E_m sono alti, e sopra il limite normativo, 2% per il FLD_m . I valori d'illuminamento medio essendo molto alti, ricordiamo che la simulazione con Ecotect è un caso semplificato e quindi ottimista per valutare queste prestazioni. Inoltre il software non permette di valutare l'uso delle schermature scorrevoli manovrate dagli utenti.

3. PROGETTO ENERGETICO

A. Introduzione e obiettivi energetici

In fisica, il termine «efficienza energetica» designa il rapporto tra l'energia utile prodotta da un sistema e l'energia totale consumata per fare funzionare questo sistema. In un senso più largo, l'efficienza energetica designa il fatto di diminuire la consumazione d'energia di un sistema e nel frattempo mantenendo lo stesso livello di prestazione finale di quello. Questo secondo senso è quello ritenuto quando progettiamo edifici ad alta efficienza energetica.

Nell'Unione Europea, il settore dell'edificato è il primo consumatore d'energia. In 2008, questo settore assorbe 40% della consumazione totale d'energia finale. La progettazione di edifici nuovi con una migliore efficienza energetica diventa allora primordiale, e questo asse di progressione è favorito dall'Unione Europea per ridurre la sua consumazione energetica.

Al livello della costruzione, si traduce con un sistema di targa energetica per ogni edificio, per dare una certificazione energetica e rendere facile l'identificazione di un alloggio come forte o debole consumatore d'energia.

La targa energetica permette di classificare l'edificio in una categoria energetica, valutando il suo fabbisogno energetico. Prende in conto il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria, e può essere esteso alla ventilazione, il raffrescamendo, e l'illuminazione. L'unità del fabbisogno è riferita di solito all'anno, e a un parametro di dimensione dell'edificio, il m^2 o m^3 e quindi in generale l'unità è il kWh/m^2 anno. Il valore di riferimento è un valore per il paese, chiamato C , e si definiscono le classe nel seguente modo, con x l'indicatore di prestazione dell'edificio :

Classe A si $x < 0,5 C$

Classe B si $0,5 C \leq x < 1 C$

Classe C si $1 C \leq x < 1,5 C$

Classe D si $1,5 C \leq x < 2 C$

Classe E si $2 C \leq x < 2,5 C$

Classe F si $2,5 C \leq x < 3 C$

Classe G si $3 C \leq x$



Fig.III.29 - Base di una targa energetica, www.lavorincasa.it

L'indicatore di prestazione può essere l'energia finale, l'energia primaria, le emissioni di CO_2 o le prestazioni dell'involucro, secondo l'informazione necessaria.

Con le simulazioni seguenti con il software Ecotect, si valuta l'energia finale.

Per un edificio, la consumazione energetica può essere definita in tre modi diversi secondo i parametri presi in conto :

L'energia utile, che si determina per il sistema edificio, non prendendo in conto l'impianto, e misura la capacità dell'involucro di contenere le esigenze di climatizzazione con lo sfruttamento degli apporti gratuiti.

L'energia finale, che rappresenta l'energia consumata per fornire l'energia utile richiesta per soddisfare le condizioni di comfort desiderate, e prende in conto il sistema edificio-impianto.

L'energia primaria, che è la quantità reale di risorse energetiche non rinnovabili necessaria per fornire l'energia utile. È uguale all'energia finale moltiplicata con un fattore di conversione che dipende del tipo di risorsa utilizzata (elettricità, gas, etc.), tenendo conto delle perdite nella produzione e distribuzione dell'energia prima di essere fornita all'edificio.

Considerando le caratteristiche climatiche delle località in regione Lombardia, che si trova in zona climatica E, sono stati definiti i seguenti indicatori di classificazione energetica ;per le targhe di certificazione energetica, con il fabbisogno energetico che corrisponde all'energia utile :

- Classe A : Fabbisogno energetico ≤ 30 kWh/m² anno
- Classe B : Fabbisogno energetico ≤ 50 kWh/m² anno
- Classe C : Fabbisogno energetico ≤ 70 kWh/m² anno
- Classe D : Fabbisogno energetico ≤ 90 kWh/m² anno
- Classe E : Fabbisogno energetico ≤ 120 kWh/m² anno
- Classe F : Fabbisogno energetico ≤ 160 kWh/m² anno
- Classe G : Fabbisogno energetico > 160 kWh/m² anno

Per un bilancio energetico dell'edificio, si calcola il fabbisogno di energia utile per lo spazio riscaldato. È la quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderata durante un dato periodo di tempo. Non prendendo in conto il sistema impiantistico, ci sono allora perdite per ventilazione, perdite per trasmissione, apporti gratuiti solari e apporti gratuiti interni.

Le dispersioni per trasmissione Q_T dipendono dalle caratteristiche di isolamento e dall'estensione dell'involucro, oltre che dalle condizioni ambientali interne ed esterne e dalla durata del periodo di riferimento.

Le dispersioni per ventilazione Q_V sono attraverso l'involucro, per ventilazione naturale, artificiale e infiltrazioni, e dipendono dalle dimensioni dell'ambiente e dai tassi di ventilazione.

Gli apporti solari Q_S dipendono dall'apertura dell'edificio verso l'esterno, principalmente attraverso le superfici trasparenti e le loro prestazioni (fattore solare del vetro), dalla loro protezione (schermature) o ostruzione (edifici intorno), e dal clima.

Gli apporti interni Q_I sono quelli dei macchinari, dell'illuminazione, e degli utenti.

L'equazione del bilancio energetico, con Q_h il fabbisogno energetico è allora :

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta_1(Q_I + Q_S)$$

dove η_1 è il fattore di utilizzazione che dipende della capacità di rapido accumulo dei guadagni da parte dell'edificio e rappresenta quindi la capacità dell'edificio di sfruttare gli apporti gratuiti.

Il fabbisogno essendo un dato difficilmente calcolabile, viene soddisfatto da un impianto che utilizza una quantità di energia primaria moltiplicata dal rendimento dell'impianto.

Considerando gli impianti, con la loro consumazione energetica Q_{impianto} che si divide tra apporti energetici che soddisfano il fabbisogno e perdite per trasmissione e ventilazione,

l'equazione diventa allora :

$$Q_{\text{impianto}} = (Q_T + Q_V) - \eta(Q_I + Q_S)$$

E come abbiamo $E_{\text{primaria}} = \mu \cdot Q_{\text{impianto}}$ l'equazione diventa :

$$E_{\text{primaria}} = \mu((Q_T + Q_V) - \eta(Q_I + Q_S))$$

dove μ è il rendimento del sistema impiantistico.

B. Analisi del clima locale

Il modello delle temperature effettive standard (Standard effective temperature - SET), sviluppato da Gagge nel 1986, permette di delimitare un range sul diagramma psicrometrico entro il quale il 90% delle persone si sentono a loro agio. Questa zona grafica, chiamata "zona comfort", dipende dalla temperatura esterna media e dalle condizioni di umidità massime ammissibili. A ogni stagione corrisponde un diagramma, per poter valutare la durata necessaria di riscaldamento e di climatizzazione sull'anno.

I colori blu rappresentano cumulativamente le condizioni di temperatura e umidità di ogni ora della stagione. La temperatura si trova sull'asse orizzontale e l'umidità assoluta (che dipende dall'umidità relativa, anche legata alla temperatura) su quello verticale. La zona delimitata dalla linea gialla rappresenta la zona comfort. Tutte le ore rappresentate a sinistra della zona comfort, caratterizzate da una temperatura troppo bassa, necessitano un riscaldamento. Le ore a destra della zona comfort risultano invece troppo calde. Per le ore troppo calde il problema può essere risolto attraverso diverse strategie: diminuzione della temperatura dell'aria (climatizzazione), aumento dell'umidità relativa (strategia evaporativa), movimento sensibile dell'aria (ventilazione).

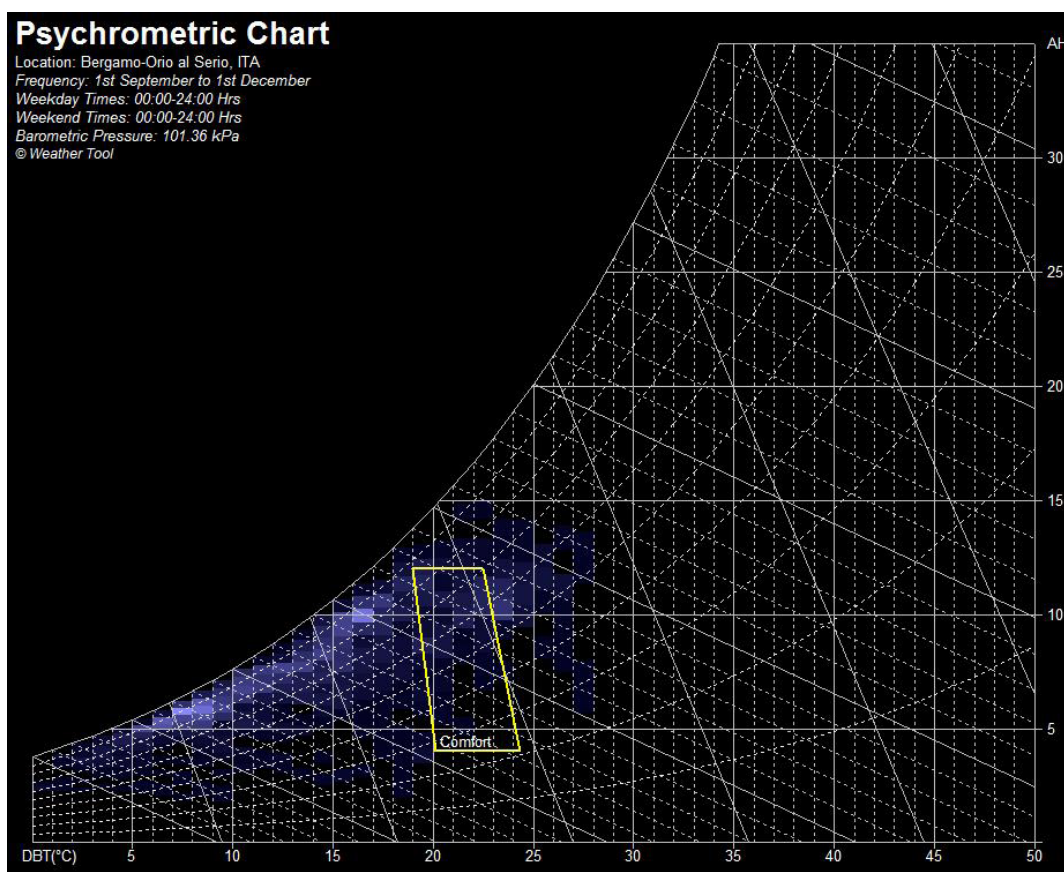


Fig.III.30 - Diagramma psicrometrico - autunno

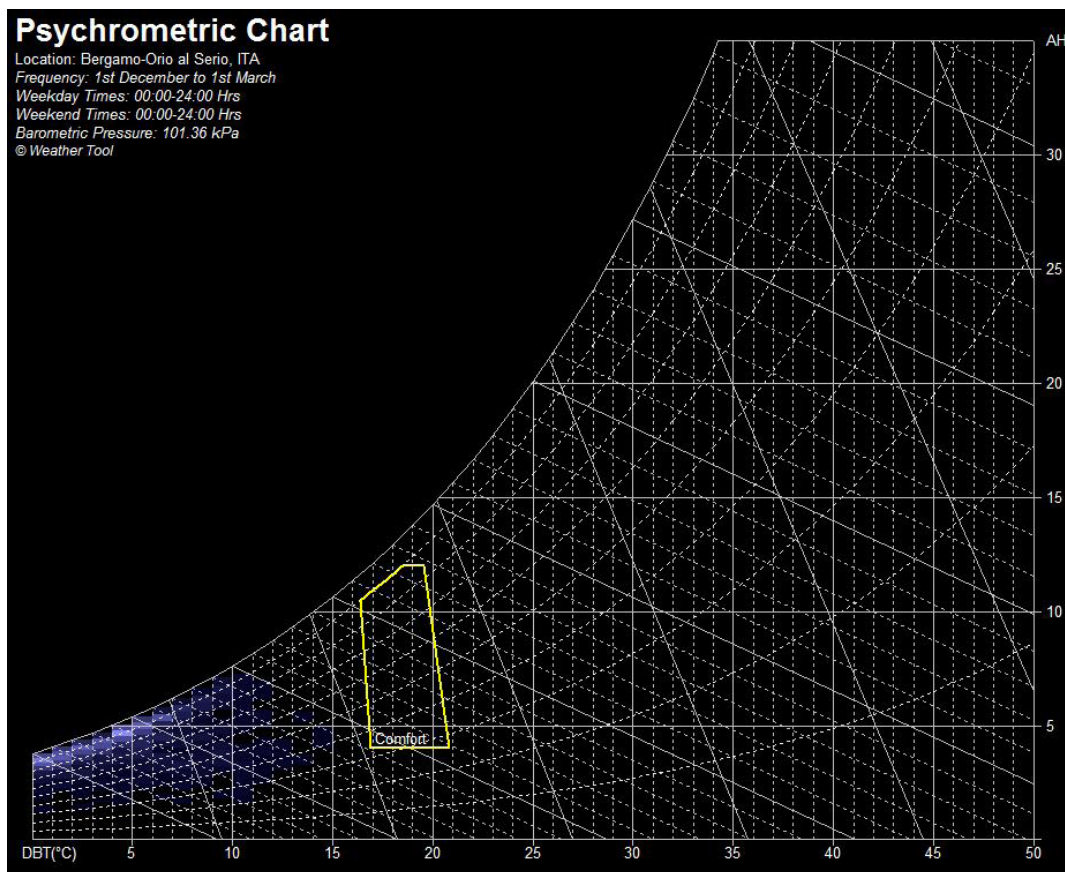


Fig.III.31 - Diagramma psicrometrico - inverno

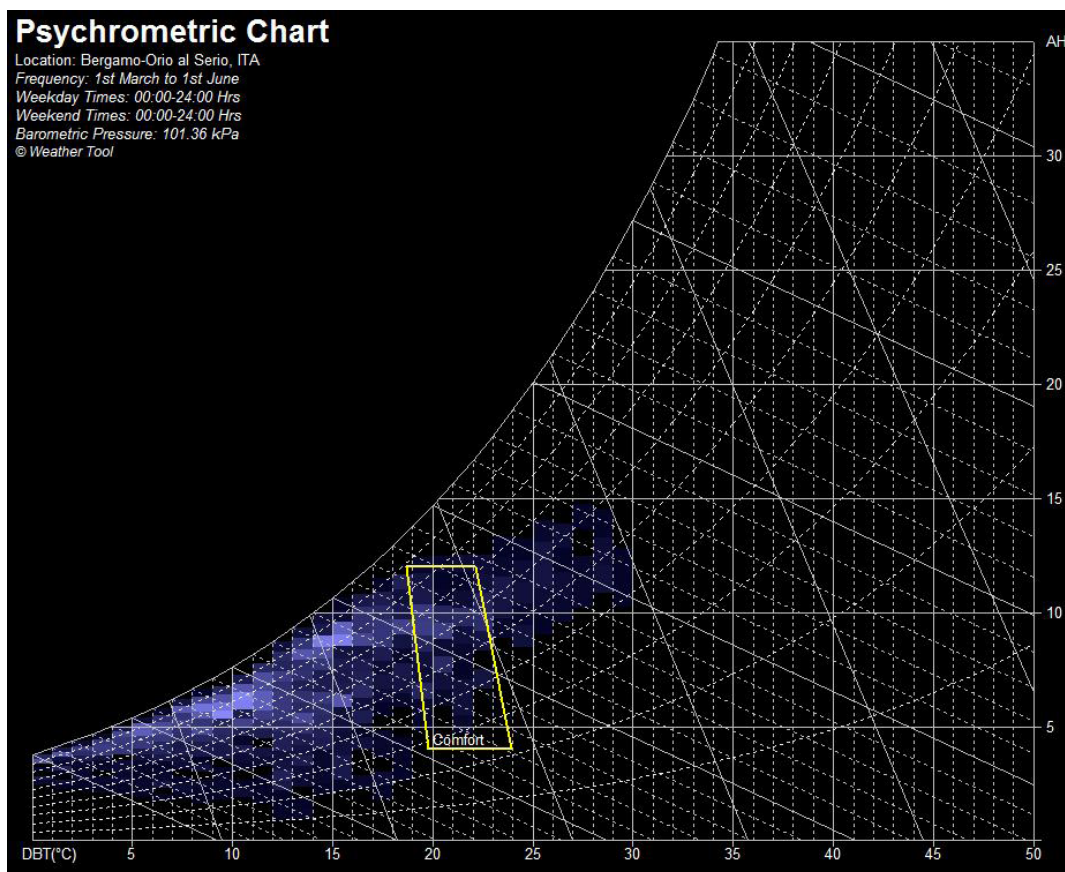


Fig.III.32 - Diagramma psicrometrico - primavera

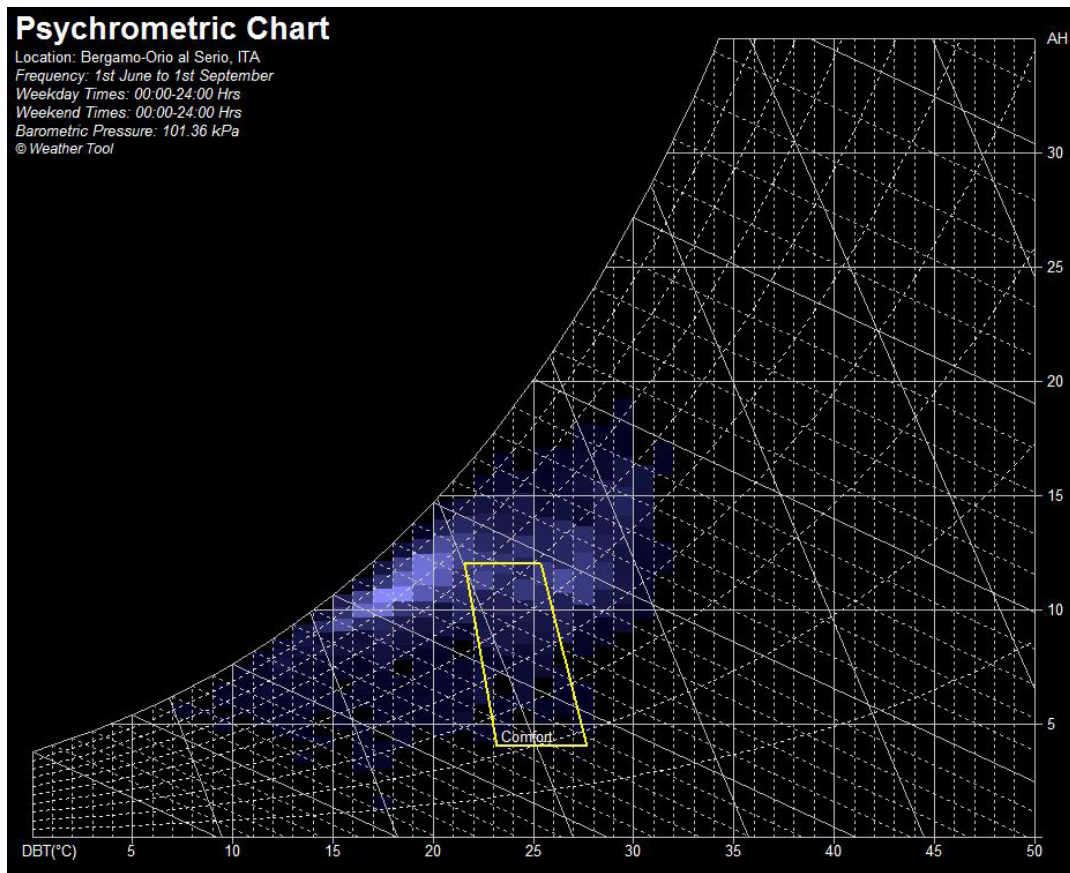


Fig.III.33 - Diagramma psicrometrico - estate

Per Bergamo e la nostra zona, possiamo prevedere un forte riscaldamento in inverno e in autunno, mentre per l'estate e la primavera ci sarà un bisogno di raffrescamento ma anche un piccolo bisogno di riscaldamento.

C. Bilancio energetico e simulazioni

a. Comfort termico

Grazie al software Ecotect, è possibile di eseguire simulazioni per capire il funzionamento dell'edificio durante tutto l'anno. Impostando le ipotesi di simulazione giustamente, è possibile di ottenere risultati che permettono di valutare la capacità dell'involucro edilizio di sfruttare gli apporti solari invernali e di minimizzarli in estate con schermature.

Sono state definite zone termiche, con un intervallo di comfort termico, e occupanti durante un orario adeguato, in cui il software è capace di calcolare il suo bilancio con i flussi termici. Le zone dotate di impianti mantengono sempre le condizioni di comfort, e Ecotect calcola il calore che deve essere fornito per raggiungere tale livello.

Nel caso in cui gli impianti sono spenti, possiamo calcolare le condizioni di comfort, in percentuale di ore in cui le condizioni termiche sono oltre il limite della zona di comfort. Questa situazione serve solo per stimare le caratteristiche termiche dell'edificio.

I dati definiti per ogni tipo di zona termica occupata sono i seguenti :

	Occupanti	Orario di utilizzo	Zona termica di comfort
Negoziato	5	Lavorativo	20°C - 25°C
Ufficio	15	Lavorativo	20°C - 25°C
Supermercato	10	Lavorativo	18°C - 22°C
Soggiorno T2	2	Uso diurno	20°C - 25°C
Soggiorno T3	3	Uso diurno	20°C - 25°C
Soggiorno T4	4	Uso diurno	20°C - 25°C
Camera T2	1	Uso notturno	20°C - 25°C
Camera T3	1	Uso notturno	20°C - 25°C
Camera T4	1	Uso notturno	20°C - 25°C

Fig.III.34 - Riassunto dati Ecotect

Gli orari di utilizzo delle zone tiene conto del comportamento durante il week end, e dell'occupazione media di una zona. Per esempio, il soggiorno e la camera sono considerati occupati ai momenti adeguati della giornata, con orari complementari.

Per le simulazioni, proponiamo di studiare il discomfort per l'intero edificio. Dopo quest'introduzione, studiamo in dettaglio i soggiorni e le camere degli appartamenti, lasciando di parte lo studio dettagliato delle zone dal piano terra, non residenziali, che devono purtroppo essere presenti dentro la simulazione per un'ipotesi giusta del progetto.

I risultati ottenuti qui dopo mostrano un discomfort non troppo alto, grazie alle scelte tecnologiche delle stratigrafie di progetto. Questo primo risultato indica che il consumo energetico sarà probabilmente non eccessivo.

Zona analizzata : Insieme delle zone termiche

Impianto : Spento

Numero occupanti : Varie a secondo della zona termica

Occupazione : Varie a secondo della zona termica

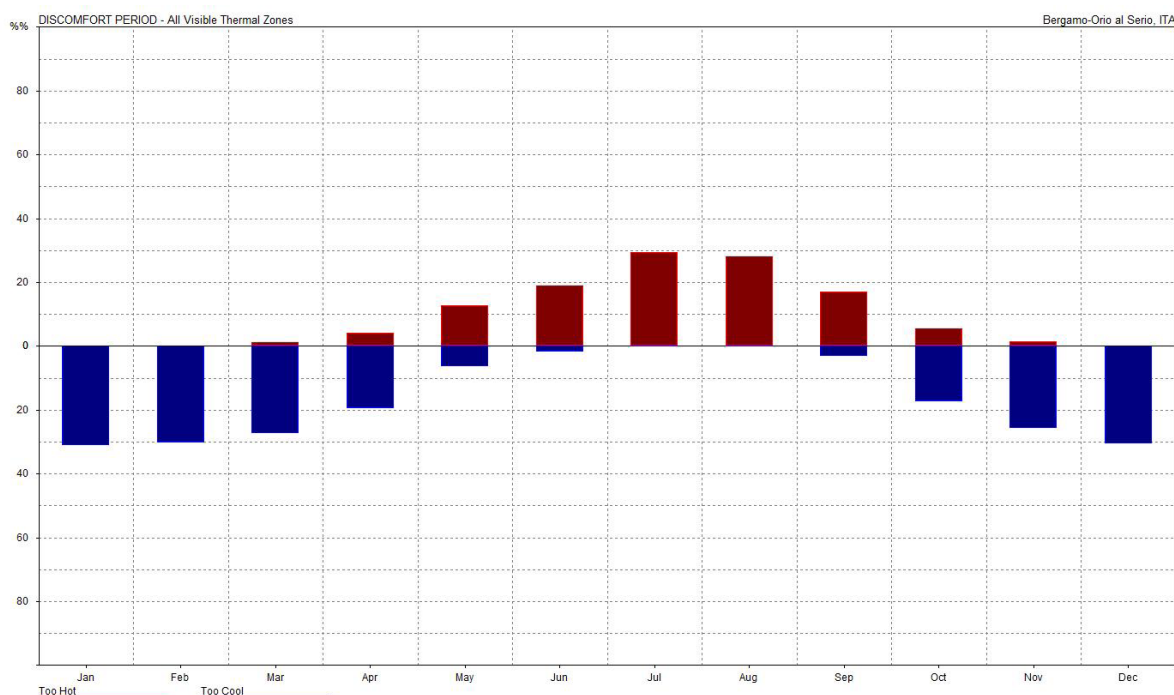


Fig.III.35 - Percentuale di ore di discomfort sull'anno, per l'intero edificio

Il grafico rappresenta in percentuale il tempo in cui la temperatura è fuori dell'intervallo di comfort termico scelto. Il mese in cui il disagio dovuto al freddo è il più grande è gennaio, mentre per il disagio dovuto al caldo è il mese di luglio.

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0.11	30.97	31.08
Febbraio	0.19	30.11	30.30
Marzo	1.13	27.39	28.52
Aprile	4.08	19.60	23.68
Maggio	12.82	6.25	19.07
Giugno	18.85	1.62	20.47
Luglio	29.52	0.04	29.57
Agosto	28.02	0	28.02
Settembre	17.10	3.22	20.32
Ottobre	5.55	17.29	22.84
Novembre	1.59	25.76	27.35
Dicembre	0.24	30.49	30.73
Media	9.93	16.07	26.00

Fig.III.36 - Comfort termico - Edificio intero

Zona analizzata : Soggiorno T2
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 2
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	65.59	65.59
Febbraio	0	65.48	65.48
Marzo	0	57.12	57.12
Aprile	6.67	32.92	39.58
Maggio	34.14	2.02	36.16
Giugno	55.14	0	55.14
Luglio	64.92	0	64.92
Agosto	65.19	0	65.19
Settembre	46.94	1.11	48.06
Ottobre	10.89	29.97	40.86
Novembre	0	54.72	54.72
Dicembre	0	65.32	65.32
Media	23.66	31.19	54.84

Fig.III.37 - Comfort termico- Soggiorno T2

Zona analizzata : Soggiorno T3
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 3
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	65.59	65.59
Febbraio	0	65.48	65.48
Marzo	0	57.66	57.66
Aprile	6.39	36.67	43.06
Maggio	29.70	0.40	30.11
Giugno	55.28	0	55.28
Luglio	65.32	0	65.32
Agosto	65.59	0	65.59
Settembre	48.33	0.14	48.47
Ottobre	9.01	32.66	41.67
Novembre	0	56.1	56.1
Dicembre	0	65.32	65.32
Media	23.30	31.67	54.97

Fig.III.38 - Comfort termico - Soggiorno T3

Zona analizzata : Soggiorno T4
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 3
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	65.59	65.59
Febbraio	0	65.48	65.48
Marzo	0	61.56	61.56
Aprile	3.33	44.03	47.36
Maggio	22.31	6.18	28.49
Giugno	45.69	0.42	46.11
Luglio	64.11	0	64.11
Agosto	63.31	0	63.31
Settembre	39.72	3.33	43.06
Ottobre	5.24	40.59	45.83
Novembre	0	60.97	60.97
Dicembre	0	65.32	65.32
Media	20.31	34.46	54.77

Fig.III.39 - Comfort termico - Soggiorno T4

Zona analizzata : Camera T2
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 1
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	54.30	54.30
Febbraio	0	54.76	54.76
Marzo	0	54.84	54.84
Aprile	0	47.22	47.22
Maggio	7.26	19.89	19.07
Giugno	12.36	5.28	20.47
Luglio	45.97	0	45.97
Agosto	40.05	0	40.05
Settembre	12.92	10.28	23.19
Ottobre	0	40.99	40.99
Novembre	0	53.47	53.47
Dicembre	0	55.38	55.38
Media	9.88	33.04	42.92

Fig.III.40 - Comfort tecnico - Camera T2

Zona analizzata : Camera T3
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 1
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	54.30	54.30
Febbraio	0	54.76	54.76
Marzo	0	54.84	54.84
Aprile	0	44.44	44.44
Maggio	10.89	6.25	19.07
Giugno	27.08	1.62	20.47
Luglio	48.66	0	48.66
Agosto	46.64	0	46.64
Settembre	23.33	7.08	30.42
Ottobre	0	38.04	38.04
Novembre	0	51.11	51.11
Dicembre	0	55.38	55.38
Media	13.05	31.28	44.33

Fig.III.41 - Comfort termico- Camera T3

Zona analizzata : Camera T4
 Impianto : Spento
 Numero occupanti : 1
 Occupazione : Sedentaria

PERIODO DI DISCOMFORT			
Mese	Caldo (%)	Freddo (%)	Totale (%)
Gennaio	0	54.30	54.30
Febbraio	0	54.76	54.76
Marzo	0	54.84	54.84
Aprile	0	45.56	45.56
Maggio	9.14	12.77	21.91
Giugno	23.75	2.78	26.53
Luglio	47.85	0	47.85
Agosto	43.55	0	43.55
Settembre	22.64	7.78	30.42
Ottobre	0	38.04	38.04
Novembre	0	52.64	52.64
Dicembre	0	55.38	55.38
Media	12.24	31.57	43.87

Fig.III.42 - Comfort termico - Camera T4

b. Consumo energetico

Il software Ecotect permette anche di stimare la consumazione energetica dell'edificio. Con le stesse zone termiche usate per l'analisi del comfort termico, studiamo il comportamento dell'edificio con gli impianti, calcolando l'energia finale necessaria per mantenere le condizioni di comfort. L'impianto scelto per questa simulazione è un impianto misto che funziona per il riscaldamento e per il raffrescamento dell'edificio.

Zona analizzata : Insieme delle zone termiche

Impianto : Misto

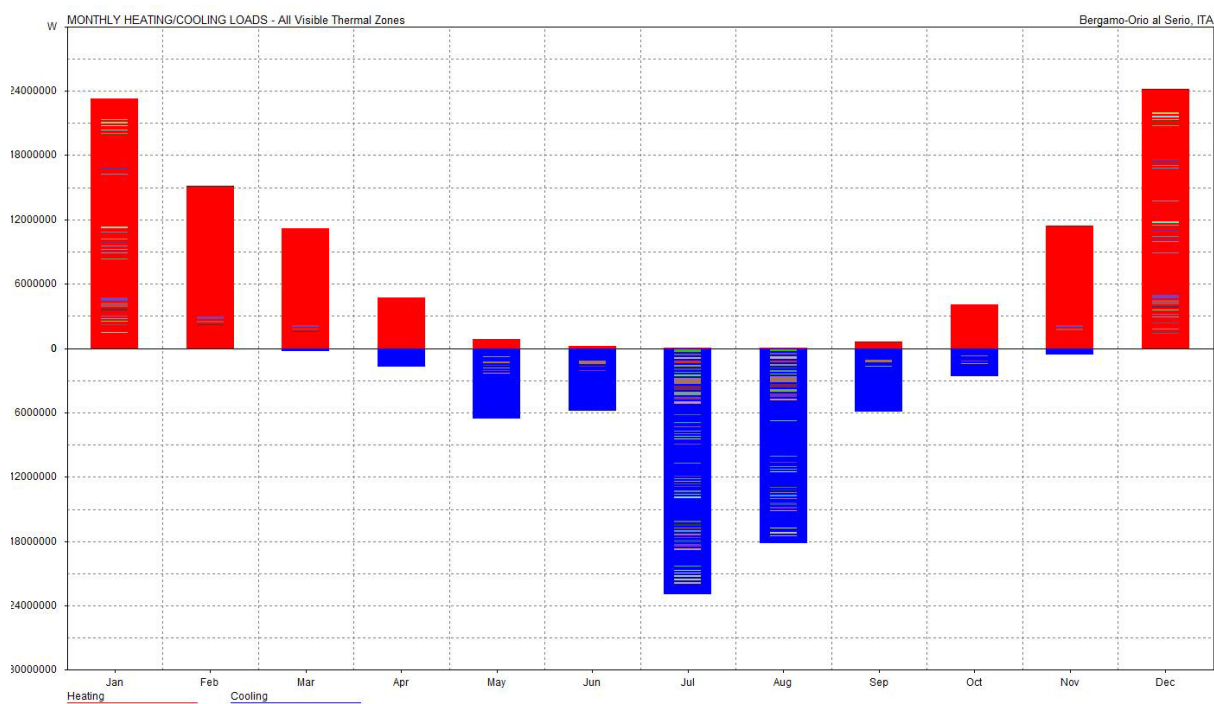


Fig.III.43 - Consumo mensile energetico per l'intero edificio, sia in riscaldamento che raffrescamento

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	23286610	0	23286610
Febbraio	15092729	435	15093164
Marzo	11164985	294653	11459638
Aprile	4681092	1738573	6419665
Maggio	881062	6538294	7419356
Giugno	171343	5614699	5986042
Luglio	41602	22912852	22954454
Agosto	8997	18158960	18167958
Settembre	602376	5962056	6564432
Ottobre	4106288	2649658	6755946
Novembre	11414960	572234	11987194
Dicembre	24182797	938	24183732
TOTALE	95634840	64643352	160278192
Per m²	16193	10946	27139
Riscaldamento massimo	126216 W alle 20:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	137858 W alle 11:00 il 3° di agosto		

Fig.III.44 - Consumo energetico- Edificio intero

Zona analizzata : Soggiorno T2 Superficie : 33,8 m²
 Impianto : Misto
 Numero occupanti : 2
 Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	186405	0	186405
Febbraio	115029	0	115029
Marzo	82969	0	82969
Aprile	28607	9456	38063
Maggio	2496	31806	34301
Giugno	166	18368	18535
Luglio	122	182590	182712
Agosto	0	138958	138958
Settembre	1306	30653	31959
Ottobre	20538	3570	24108
Novembre	79739	0	79739
Dicembre	194047	0	194047
TOTALE	711425	415400	1126825
Per m²	21074	12305	33379
Riscaldamento massimo	1231 W alle 20:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	1377 W alle 14:00 il 4° di agosto		

Fig.III.45 - Consumo energetico - Soggiorno T2

Zona analizzata : Soggiorno T3 Superficie : 44,1 m²
 Impianto : Misto
 Numero occupanti : 3
 Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	140006	0	140006
Febbraio	78676	0	78676
Marzo	57504	0	57504
Aprile	14483	20929	35412
Maggio	577	73586	74162
Giugno	0	80204	80204
Luglio	9	217505	217514
Agosto	0	186584	186584
Settembre	238	83433	83671
Ottobre	7926	27662	35588
Novembre	49045	0	49045
Dicembre	149998	0	149998
TOTALE	498462	689903	1188365
Per m²	11281	15614	26896
Riscaldamento massimo	1260 W alle 20:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	1568 W alle 14:00 il 15° di luglio		

Fig.III.46 - Consumo energetico - Soggiorno T3

Zona analizzata : Soggiorno T4 Superficie : 55,9 m²
 Impianto : Misto
 Numero occupanti : 4
 Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	297317	0	297317
Febbraio	225448	0	225448
Marzo	177851	0	177851
Aprile	94877	7954	102831
Maggio	7313	33121	40434
Giugno	0	39686	39686
Luglio	0	114734	114734
Agosto	0	89563	89563
Settembre	1235	40220	41455
Ottobre	51281	11128	62409
Novembre	171602	0	171602
Dicembre	306382	0	306382
TOTALE	1333307	336407	1669714
Per m²	23847	6017	29863
Riscaldamento massimo	2100 W alle 20:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	957 W alle 14:00 il 15° di luglio		

Fig.III.47 - Consumo energetico - Soggiorno T4

Zona analizzata : Camera T2 Superficie : 16,0 m²
 Impianto : Misto
 Numero occupanti : 1
 Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	87713	0	87713
Febbraio	58060	0	58060
Marzo	45684	0	45684
Aprile	22070	0	22070
Maggio	5975	4096	10071
Giugno	1036	2823	3860
Luglio	346	37829	38174
Agosto	0	23875	23875
Settembre	4568	3450	8017
Ottobre	23070	0	23070
Novembre	50696	0	50696
Dicembre	89494	0	89494
TOTALE	388713	72073	460786
Per m²	24295	4505	28799
Riscaldamento massimo	409 W alle 22:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	352 W alle 15:00 il 4° di agosto		

Fig.III.48 - Consumo energetico - Camera T2

Zona analizzata : Camera T3

Superficie : 21,4 m²

Impianto : Misto

Numero occupanti : 1

Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	135483	0	135483
Febbraio	89257	0	89257
Marzo	69811	0	69811
Aprile	33593	0	33593
Maggio	9337	5985	15322
Giugno	2385	4154	6538
Luglio	594	59371	59965
Agosto	255	38531	38786
Settembre	7579	5062	12641
Ottobre	36526	0	36526
Novembre	79038	0	79038
Dicembre	138380	0	138380
TOTALE	602236	113103	715339
Per m²	28071	5272	33343
Riscaldamento massimo	624 W alle 22:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	528 W alle 12:00 il 4° di agosto		

Fig.III.49 - Consumo energetico - Camera T3

Zona analizzata : Camera T4

Superficie : 15,1 m²

Impianto : Misto

Numero occupanti : 1

Occupazione : Sedentaria

CONSUMO MENSILE ENERGETICO			
Mese	Riscaldamento (Wh)	Raffrescamento (Wh)	Totale (%)
Gennaio	83656	0	83656
Febbraio	56137	0	56137
Marzo	41139	0	41139
Aprile	19407	0	19407
Maggio	5628	4249	9877
Giugno	1168	4729	5897
Luglio	332	37602	37934
Agosto	0	22426	22426
Settembre	4074	1925	6000
Ottobre	20952	0	20952
Novembre	47945	0	47945
Dicembre	86052	0	86052
TOTALE	366492	70931	437424
Per m²	24202	4684	28887
Riscaldamento massimo	391 W alle 22:00 il 17° di dicembre		
Raffrescamento massimo	382 W alle 08:00 il 21° di luglio		

Fig.III.50 - Consumo energetico - Camera T4

c. Guadagni e perdite passive

Il software Ecotect non solo calcola il consumo energetico di uno spazio, ma anche la distribuzione di quest'energia tra i quattro termini del bilancio energetico : le perdite per trasmissione, le perdite per ventilazione, gli apporti solari e gli apporti interni. E molto interessante di vedere dove sarebbe possibile di migliorare le prestazioni dell'edificio grazie a quest'analisi.

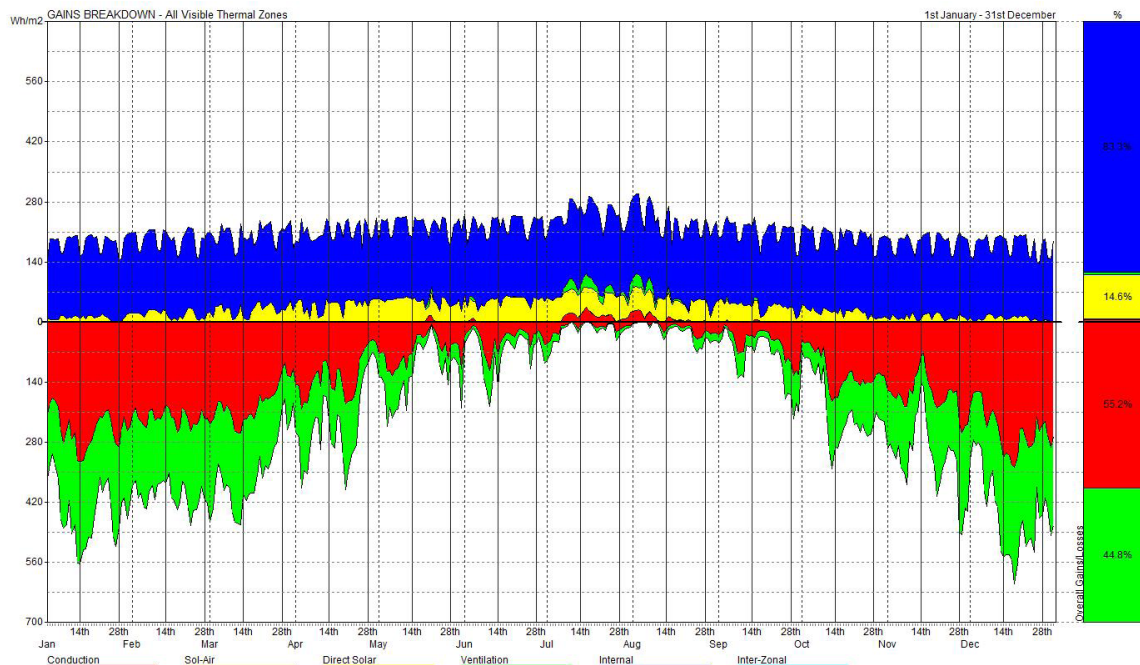


Fig.III.51 - Guadagni e perdite passive - Edificio intero

Questi grafici ci danno i percentuali di guadagni e perdite per ogni termine del bilancio termico. Notiamo il forte percentuale di perdite dovuto alla trasmissione, e nell'altra parte i guadagni gratuiti interni.

In conclusione del bilancio energetico eseguito per l'edificio, valutiamo il bilancio energetico di quello con un'energia finale sull'anno e per m² di 27,1 kWh/m² anno. Questo valore permette di classificare l'edificio dentro la classe A definita nell'introduzione di questa parte.

INDICE CAPITOLO IV

CAPITOLO IV. PROGETTO STRUTTURALE 117

1. CARATTERISTICHE DI PROGETTO 117

A. Introduzione 117

B. Azioni 121

a. Coefficienti di sicurezza 121

b. Peso proprio della soletta dei piani G_1 122

c. Peso permanente non strutturale G_2 123

d. Pesi della copertura 124

e. Carico variabile Q_k 125

C. Combinazione delle azioni 125

2. CALCOLO DEI SOLAI DEI PIANI 1° A 4° 126

A. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite ultimi 127

B. Azioni dovuti ai balconi 127

C. Combinazione agli stati limite ultimi 130

a. Diagramma involuppo dei momenti flettenti 133

b. Predimensionamento delle armature 134

c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione 135

d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio 135

e. Tracciato delle armature 136

D. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio 138

a. Combinazione caratteristica (rara) 138

b. Combinazione quasi permanente 139

c. Combinazione frequente (per la fessurazione) 139

d. Verifica della fessurazione 139

e. Controllo delle deformazioni 140

3. CALCOLO DEL SOLAIO DI COPERTURA 141

A. Combinazione agli stati limite ultimi 142

a. Diagramma involuppo dei momenti flettenti 144

b. Predimensionamento delle armature 144

c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione 145

d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio 145

e. Tracciato delle armature 146

B. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio 147

a. Combinazione caratteristica (rara) 147

b.	<i>Combinazione quasi permanente</i>	147
c.	<i>Combinazione frequente (per la fessurazione)</i>	148
d.	<i>Verifica della fessurazione</i>	148
e.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	148
4.	CALCOLO DELLE TRAVI DEI PIANI 1° A 4°	149
A.	Analisi delle sollecitazioni	150
a.	<i>Travi di bordo TB2</i>	150
b.	<i>Travi interne TI1</i>	151
B.	Combinazione delle azioni	152
a.	<i>Travi di bordo TB2</i>	152
b.	<i>Travi interne TI1</i>	152
C.	Casi di studio	153
5.	TRAVI DI BORDO TB2	154
A.	Combinazione agli stati limiti ultimi	154
a.	<i>Altezza utile della trave</i>	157
b.	<i>Predimensionamento delle armature</i>	159
c.	<i>Verifica allo stato limite ultimo per flessione</i>	159
d.	<i>Verifica allo stato limite ultimo per taglio</i>	160
e.	<i>Tracciato delle armature</i>	161
B.	Combinazione agli stati limiti di esercizio	162
a.	<i>Combinazione caratteristica (rara)</i>	162
b.	<i>Combinazione quasi permanente</i>	163
c.	<i>Combinazione frequente (per la fessurazione)</i>	163
d.	<i>Verifica della fessurazione</i>	164
e.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	164
6.	TRAVI INTERNE TI1	165
A.	Combinazione agli stati limiti ultimi	165
a.	<i>Predimensionamento delle armature</i>	165
b.	<i>Verifica allo stato limite ultimo per flessione</i>	166
c.	<i>Verifica allo stato limite ultimo per taglio</i>	166
d.	<i>Tracciato delle armature</i>	167
B.	Combinazione agli stati limiti di esercizio	168
a.	<i>Combinazione caratteristica (rara)</i>	168
b.	<i>Combinazione quasi permanente</i>	168
c.	<i>Combinazione frequente (per la fessurazione)</i>	168
d.	<i>Verifica della fessurazione</i>	169
e.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	169
7.	CALCOLO DELLE TRAVI IN COPERTURA	170
A.	Travi di bordo TB2	170
a.	<i>Combinazione agli SLU</i>	170

b.	<i>Combinazione agli SLE caratteristica</i>	172
c.	<i>Verifica alla fessurazione</i>	173
d.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	173
B.	TRAVI INTERNE TI1	173
a.	<i>Combinazione agli SLU</i>	173
b.	<i>Combinazione agli SLE caratteristica</i>	175
c.	<i>Verifica alla fessurazione</i>	175
d.	<i>Controllo delle deformazioni</i>	175
8.	CALCOLO DEI PILASTRI	176
A.	Analisi delle sollecitazioni per compressione centrata	176
a.	<i>Pilastri in bordo</i>	176
b.	<i>Pilastri interni</i>	179
B.	Ulteriore analisi	180

CAPITOLO IV. PROGETTO STRUTTURALE

1. CARATTERISTICHE DI PROGETTO

A. Introduzione

Il nostro progetto è un opera ordinario di uffici e negozi di piccole e medie dimensione al piano terra, e residenze ai piani superiori. Il posizionamento dei servizi pubblici al piano terra, facilita lo svuotamento dell'opera nel caso di un pericolo. Si considera pertanto avere un opera ad uso solo residenziale.

La residenza si divide in blocchi di abitazione legati da torre di circolazione.

Le torre hanno la loro propria struttura a telaio in acciaio. Sono ambienti semi-chiusi dall'esterno in modo di avere la funzione di circolazione verso i appartamenti e la funzione di uscita di sicurezza.

In questo capitolo si limita lo studio al blocco di dimensione maggiore, situato al nord-est del complesso residenziale. Consiste in un parallelepipedo di 8 x 28 x 15 m.



Fig.IV.1 - Ripartizione blocchi di abitazione e torre di circolazione

Il nostro blocco di studio ha una struttura a telaio in calcestruzzo armato con delle campate regolare di 4 x 4 m e un altezza di pilastri di 3 m.

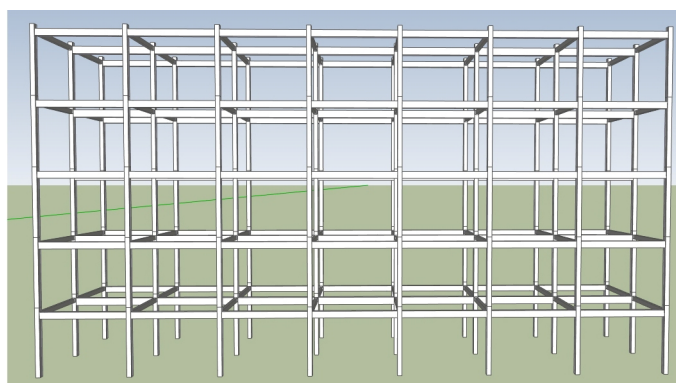


Fig.IV.2 - 3D strutturale del parallelepipedo studiato

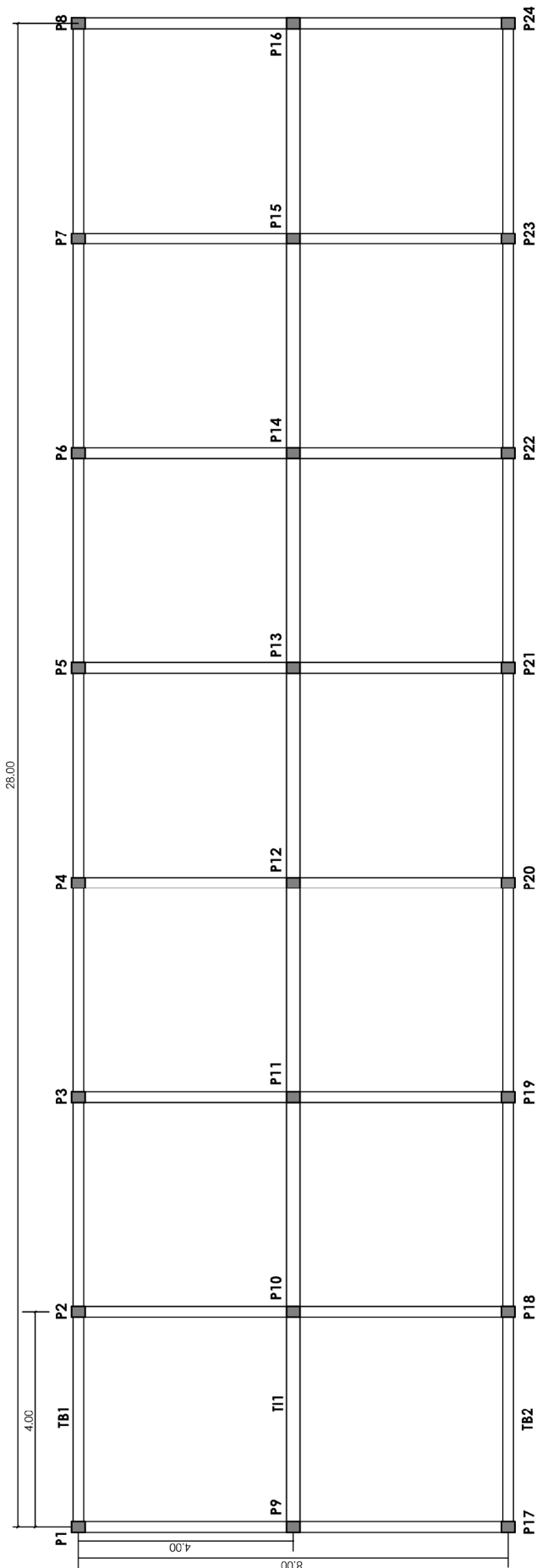


Fig.IV.3 - Pianta strutturale

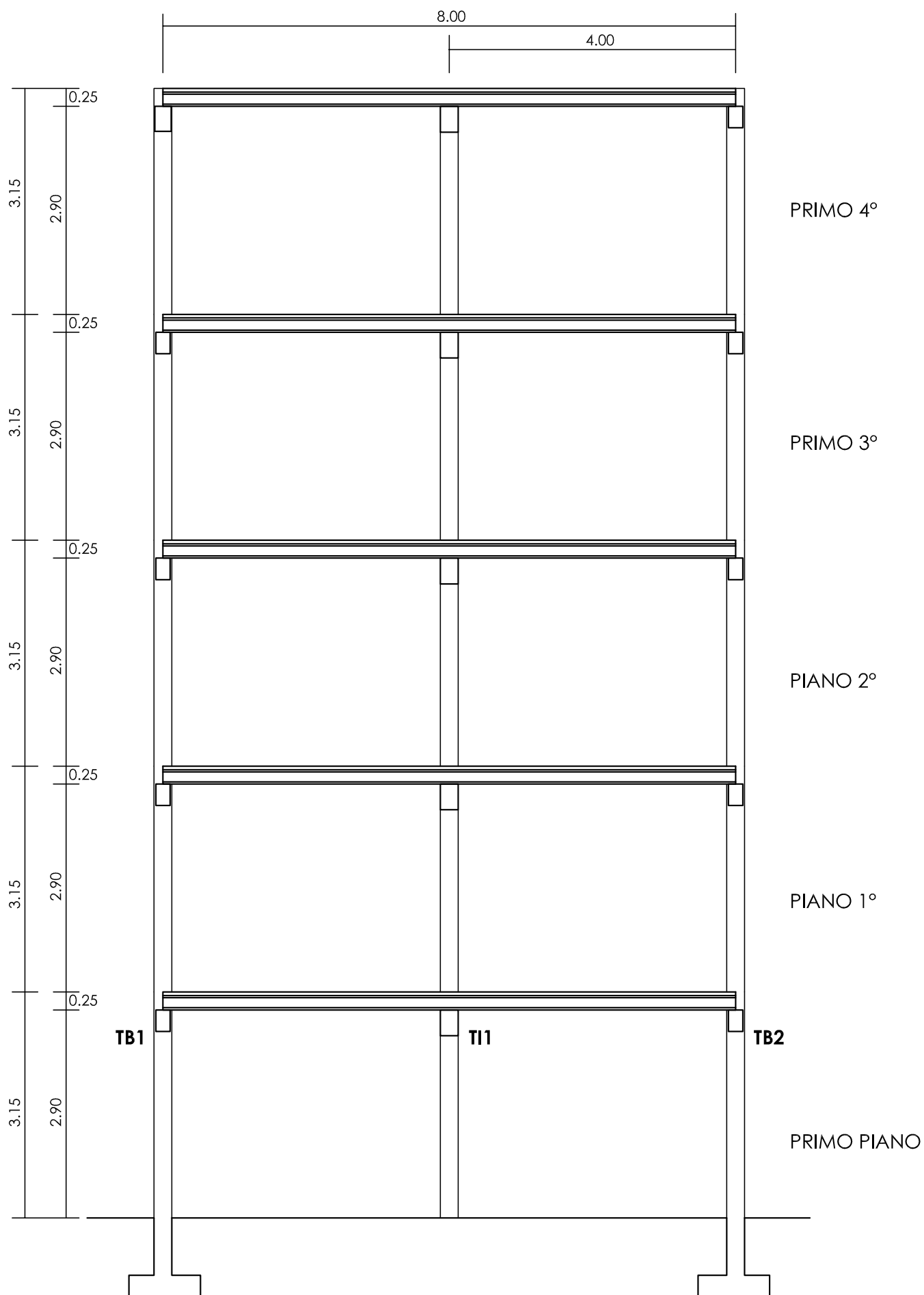


Fig.IV.4 - Sezione in elevazione

I piani 1° a 4° sono residenziali e non presentano alcuna particolarità strutturale, tranne la presenza dei balconi. I balconi sono continui sulle facciate sud e puntuali al nord, hanno una struttura lignea a trave, fissate alle solette degli appartamenti tramite tagli termici che trasmettono momenti e taglio alla soletta. Il predimensionamento dei balconi non è l'oggetto di questo capitolo, e si limita per quello all'uso delle tabelle di calcolo del fornitore dei tagli termici.

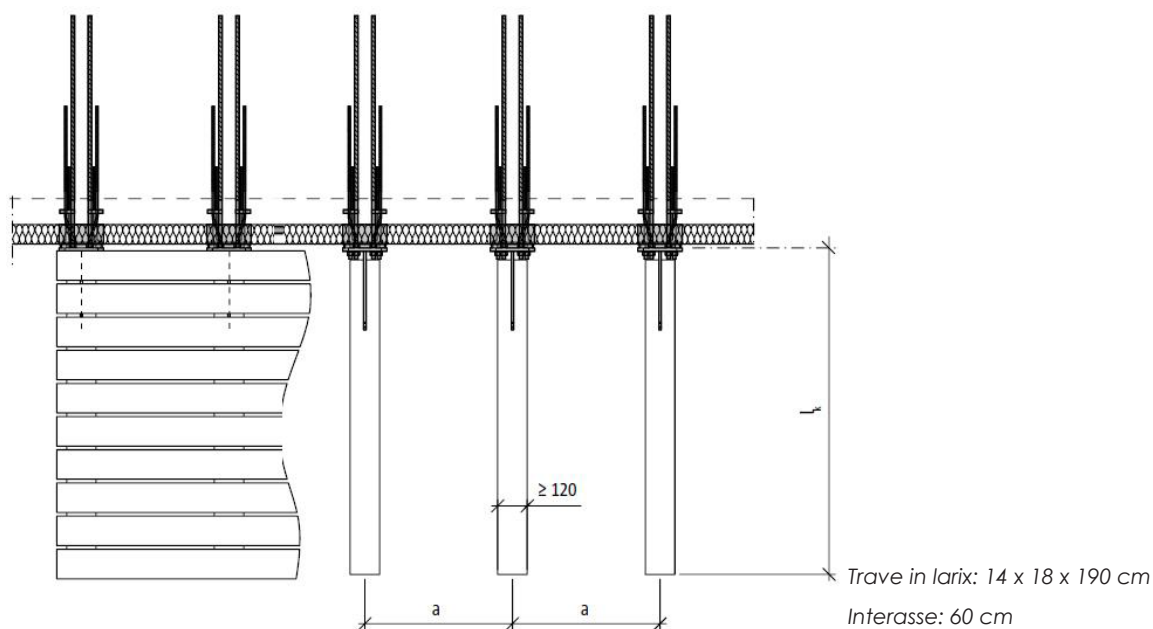


Fig.IV.5 - Pianta della struttura del balcone con i tagli termici - www.schock.it

Per la copertura, il peso notevole dovuto alla piantagione di alberi sul bordo della soletta, deve fare l'oggetto di un'attenzione particolare.

Per questo progetto strutturale, si ha segue i indicazioni presenti nella:

Guida all'uso dell'Eurocodice 2 con riferimento alle Norme Tecniche DM 14.1.2008,
a cura di AICAP, con il contributo di Progetto Ulisse. - Roma : Pubblicamento, 2008

e più specificamente nel secondo volume :

2: *Progettazione sismica di edifici in calcestruzzo armato.* - Roma : Pubblicamento, c2008

L'Eurocodice 2 [23] e le Norme Tecniche DM 14.1. 2008 [24] costituiscono la base normative per questo studio.

B. Azioni

a. Coefficienti di sicurezza

La resistenza dei materiali è rappresentata attraverso un valore caratteristico, indicato con il simbolo f_k . Per sicurezza si usa un coefficiente parziale di sicurezza dei materiali, tale che :

$$\gamma_i = \frac{f_k}{f_d}$$

COEFFICIENTI DI SICUREZZA		
Calcestruzzo per opere persistenti	γ_c	1.5
Acciai da precompressione per opere persistenti	γ_s	1.15

Classe di calcestruzzo per le solette alveolare

NOME	NOTAZIONE	VALORE	UNITA'
Resistenza caratteristica a compressione	f_{ck}	53	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	61	N/mm ²
Resistenza cubica media a compressione	R_{cm}	73.49	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	4.16	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	4.99	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	30.03	N/mm ²
Modulo Elastico medio	E_{cm}	37846	N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.20	
Contrazione ultima del calcestruzzo	ϵ_{cu}	0.079%	

Classe di calcestruzzo delle trave e pilastri

C35/45

NOME	NOTAZIONE	VALORE	UNITA'
Resistenza caratteristica a compressione	f_{ck}	45	N/mm ²
Resistenza media a compressione	f_{cm}	53	N/mm ²
Resistenza cubica media a compressione	R_{cm}	63.86	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	3.80	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	4.55	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	25.50	N/mm ²
Modulo Elastico medio	E_{cm}	36283	N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.20	
Contrazione ultima del calcestruzzo	ϵ_{cu}	0.07%	N/mm ²

Classe di acciaio per le armature

B450C
alta duttilità

NOME	NOTAZIONE	VALORE	UNITA'
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	N/mm ²
Resistenza di calcolo	f_{yd}	391.30	N/mm ²
Modulo elastico di progetto	E_s	210.00	kN/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	f_{yd}	391.30	kN/mm ²
Limite della dilatazione di snervamento	ϵ_{yd}	0.186%	

b. Peso proprio della soletta dei piani G_1

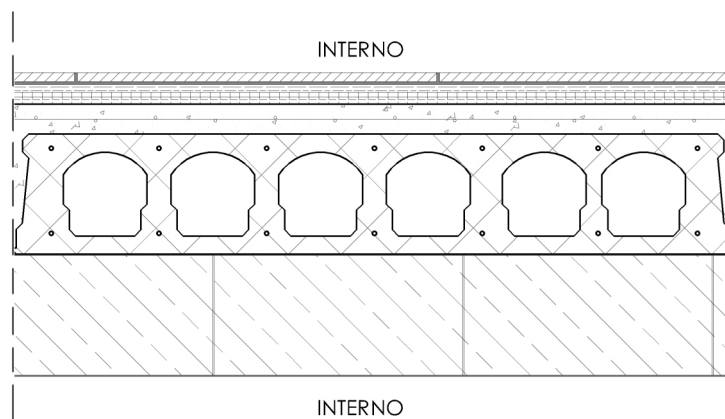


Fig.IV.6 - Soletta interpiano

NOME	SPESSORE (m)	DENSITA (kg/m ³)	PESO VOLUMETRICO (kN/m ³)	PESO SUPERFICIALE (kN/m ²)
Getto in calcestruzzo	0.05			
Solaio alveolare	0.20			
TOTALE PESO PROPRIO STRUTTURALE SOLAIO PIANO TIPO (cf. scheda tecnica)				4.07
Isolante minerale solido	0.20	95	0.95	0.19
Isolante acustico inferiore	0.011	145	1.45	0.02
Isolante acustico superiore	0.0075	213	2.13	0.02
Pannello gesso armato	0.0125	420	4.2	0.05
Pavimento in ceramica	0.015	2300	23	0.35
TOTALE PESO PROPRIO NON STRUTTURALE DEL SOLAIO				0.62
CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G_1 DEI SOLAI				4.69 kN/m²

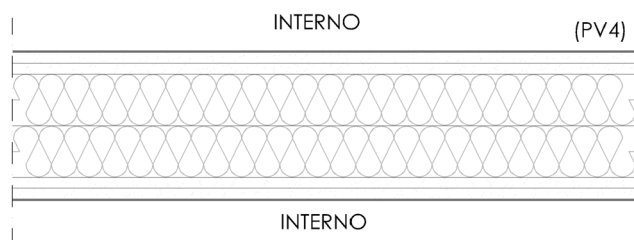
c. **Peso permanente non strutturale G_2**


Fig.IV.7 - Parete divisorie sulle soletta

NOME	SPESSORE (m)	DENSITA (kg/m ³)	PESO VOLUMETRICO (kN/m ³)	PESO SUPERFICIALE (kN/m ²)	PESO LINEARE (kN/m)
Paramento in ceramica	0.010	2300	23	0.23	0.62
Cartongesso	0.0125	900	9	0.11	0.30
Cartongesso	0.0125	900	9	0.11	0.30
Lana di roccia	0.080	175	1.75	0.14	0.38
Cartongesso	0.0125	900	9	0.11	0.30
Cartongesso	0.0125	900	9	0.11	0.30
Paramento in ceramica	0.010	2300	23	0.23	0.62
TOTALE PESO PROPRIO TRAMEZZI				1.05	2.84 kN/m
CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO PER GLI ORIZZONTAMENTI G_2				1.20 kN/m²	

Si considera il caso di peso massimo con un rivestimento in ceramica sulle due facciate (parete tra bagno e cucina). Il peso dei tramezzi è inferiore a 3 kN/m. Si può dunque considerare una ripartizione uniforme di 1.20 kN/m².

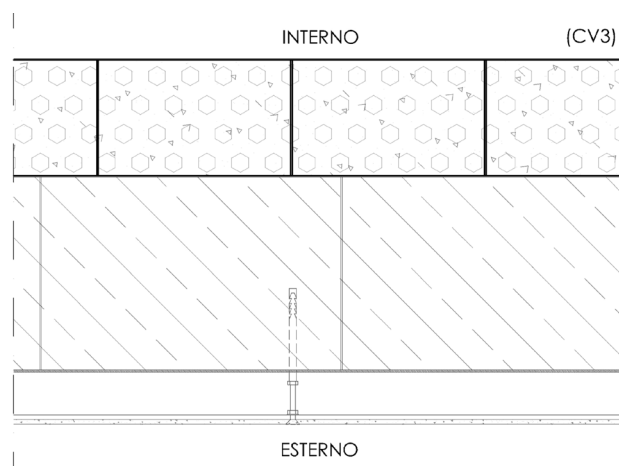


Fig.IV.8 - Tamponamento esterno

NOME	SPESSORE (m)	DENSITA (kg/m ³)	PESO VOLUMETRICO (kN/m ³)	PESO SUPERFICIALE (kN/m ²)	PESO LINEARE (kN/m)
Paramento in ceramica	0.01	2300	23	0.23	0.62
Isolante minerale solido	0.25	95	0.95	0.24	0.64
Cemento cellulare	0.15	1400	14	2.10	5.67
Malta	0.002	1800	18	0.04	0.10
Fibrocemento	0.006	1900	19	0.11	0.31
TOTALE PESO PROPRIO NON STRUTTURALE DEI MURI				2.72	7.34 kN/m²

Non è preso l'alleggerimento dovuto alle aperture per i serramenti per prendere in conto il loro peso.

d. Pesi della copertura

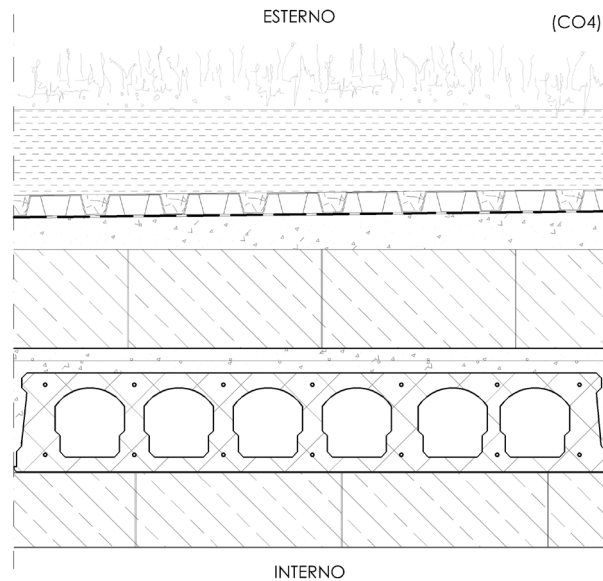


Fig.IV.9 - Soletta di copertura verde

Le coperture del complesso residenziale sono delle coperture piane verde. Sulle ali, dei pannelli fotovoltaici occupano lo spazio. Sul blocco che studiamo qui, si trova un giardino con arbusti e piccoli alberi su 1.50 m lungo il bordo della copertura. Al centro pelouse e sentieri in pavimentazione galleggiante contribuiscono a creare spazi e verdi e di cammino. Per il dimensionamento, si considera una soletta con il peso dei alberi equirepartito alle estremità su 1.50 m e il peso di una copertura verde uniformemente repartita sul resto della soletta. Si ha dunque :

- Il peso strutturale della copertura:

NOME	SPESSORE (m)	DENSITA (kg/m3)	PESO VOLUMETRICO (kN/m³)	PESO SUPERFICIALE (kN/m²)
Getto in calcestruzzo	0.05			
Solaio alveolare	0.20			
TOTALE PESO PROPRIO STRUTTURALE SOLAIO PIANO TIPO (cf. scheda tecnica)				4.07
Isolante minerale rigido	0.10	95	0.95	0.10
Isolante minerale rigido	0.2	95	0.95	0.19
TOTALE PESO PROPRIO NON STRUTTURALE DEL SOLAIO				0.29
CARICO PERMANENTE STRUTTURALE G_{1cop}				4.36 kN/m²

- Il peso proprio non strutturale calpestabile da 1.5 m < x < 6.5 m:

NOME	SPESSORE (m)	DENSITA (kg/m3)	PESO VOLUMETRICO (kN/m³)	PESO SUPERFICIALE (kN/m²)
Malta in pendenza	0.05	375	3.75	0.19
Guaina traspirante	0.002	700	7	0.01
Elemento drenante			0	0.02
Substrato culturale	0.2	1400	14	2.80
TOTALE PESO PROPRIO NON STRUTTURALE DEL SOLAIO $G'_{1, cop}$				3.02 kN/m²

• Il peso proprio non strutturale dei parapetti di alberi su 1.5 m ad ogni estremità. Piante, arbusti e piccole alberi (~2 m di altezza) sono piantati in un metro di terra. Il peso della terra, dell'acqua stagnante, delle piantagioni è stimato a un carico superficiale di:

$$G'_{1,alb} = 25 \text{ kN/m}^2$$

e. Carico variabile Q_k

L'edificio è a uso residenziale, i carichi variabili di esercizio sono equivalenti a un carico uniformemente ripartito : $Q_{k,es} = 2.00 \text{ kN/m}^2$

Per il carico di neve in copertura, si ha una copertura piana con parapetto :

Bergamo	ZONA I	Alpina	
Altitudine sul livello del mare del sito	a_s	254.0	m
Carico minimo della neve al suolo	q_{sk}	1.56	kN/m²
Classi di topografia	C_E	1.0	-
Coefficiente termico	C_t	1.0	-
Coefficiente di forma	m_1	0.8	-
CARICO DELLA NEVE SULLA COPERTURA	Q_n	1.25	kN/m²

c. Combinazione delle azioni

Combinazioni agli SLU per situazioni di progetto persistenti	
Azione dominante carico di esercizio :	$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q Q_{k,es} + \gamma_Q \psi_{0,n} Q_{k,n}$
Azione dominante neve :	$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_Q \psi_{0,es} Q_{k,es} + \gamma_Q Q_{k,n}$
Combinazioni agli SLU per situazioni di progetto sismiche	
	$G_1 + G_2 + \psi_{0,es} Q_{k,es} + \psi_{0,n} Q_{k,n}$
Combinazioni agli SLE irreversibile caratteristica	
Azione dominante carico di esercizio :	$G_1 + G_2 + Q_{k,es} + \psi_{0,n} Q_{k,n}$
Azione dominante neve :	$G_1 + G_2 + \psi_{0,es} Q_{k,es} + Q_{k,n}$
Azione dominante vento :	$G_1 + G_2 + \psi_{0,es} Q_{k,es} + \psi_{0,n} Q_{k,n}$
Combinazioni agli SLE reversibile frequente	
Azione dominante carico di esercizio :	$G_1 + G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$
Azione dominante neve :	$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} + \psi_{1,n} Q_{k,n}$
Azione dominante vento :	$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$
Combinazioni agli SLE reversibile quasi permanente	
	$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$

2. CALCOLO DEI SOLAI DEI PIANI 1° A 4°

Il solaio è ordinato parallelamente al lato minore dell'edificio su due campata di luce $l = 4$ m. E' costituito da una soletta alveolare in calcestruzzo armato precompresso composta di elementi di dimensione : 20 x 120 cm, completato da una soletta collaborante di 5 cm in calcestruzzo armato pure gettato in opera.

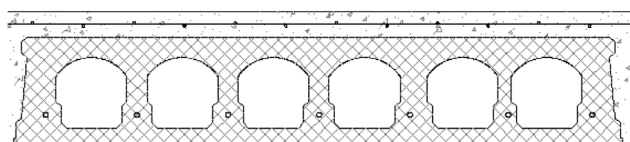


Fig.IV.10 - Soletta alveolare con getto collaborante

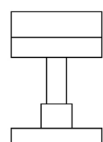
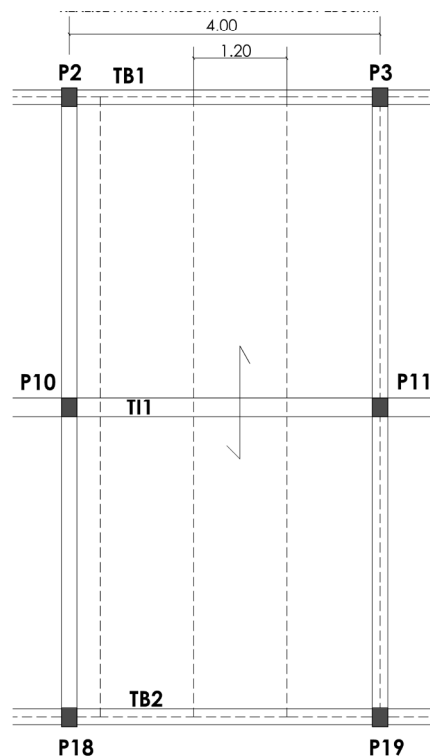


Fig.IV.11 - Soletta alveolare in pianta



SCF 20/120 con getto collaborante					
	X (mm)	Y (mm)	S (mm ²)	y _G (mm)	Inertie (mm ⁴)
Getto collaborante	180	50	9000	25	1.88E+06
Ala superiore	180	30	5400	65	4.05E+05
Anima	40	92	3680	126	2.60E+06
Ala inferiore 1	100	48	4800	196	9.22E+05
Ala inferiore 2	180	30	5400	235	4.05E+05
TOTALE		250	28280	114.90	2.02E+08

Ogni soletta può decomporre in sette "travetti" precompressi, con sezione a I e coperti da una soletta di getto collaborante.

Con il getto collaborante, si ottiene per il travetto :

- una superficie $A = 28280$ mm²
- un baricentro rispetto all'estradosso a : $y_{G,T} = 114.90$ mm
- un'inerzia $I_s = 2.02$ E+8 mm⁴

Si trovano delle armature nel getto collaborante anziché delle armature al basso del travetto.

Il calcolo verrà effettuato con riferimento al solaio di un interpiano (1° a 4°). I carichi agenti su tale striscia di solaio risultano pertanto essere i seguenti :

- carichi permanenti strutturali (equiparati) : peso proprio del solaio e delle finiture
 $G_1 = 4.69$ kN/m²
- carichi permanenti portati : partizioni interne equiparati
 $G_2 = 1.20$ kN/m²
- carichi variabili : sovraccarico di esercizio per un ambiente ad uso residenziale
 $Q_{k1} = 2.00$ kN/m²

A. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite ultimi

L'analisi delle sollecitazioni viene condotta secondo il metodo della analisi lineare elastica con riferimento alle combinazioni delle azioni per gli stati limite ultimi, così definita :

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$$

(§2.5.1- [24])

dove i coefficienti parziali delle azioni assumono i seguenti valori :

(Tab. 2.6.1 - [24])

carichi permanenti strutturali :

$\gamma_{G1} = 1.3$ se a sfavore di sicurezza $\gamma_{G1} = 1.0$ a favore di sicurezza

carichi permanenti portati :

$\gamma_{G2} = 1.5$ se a sfavore di sicurezza $\gamma_{G2} = 0$ a favore di sicurezza

carichi variabili :

$\gamma_{Q1} = 1.5$ se a sfavore di sicurezza $\gamma_{Q1} = 0$ a favore di sicurezza

B. Azioni dovuti ai balconi

In A si pone i balconi in continuità della facciata sud con un eventuale presenza di veranda. In B si pone i balconi puntuali senza veranda. Abbiamo dunque diversi casi di studio secondo la presenza di un o due balconi, e secondo la presenza di una veranda o no.

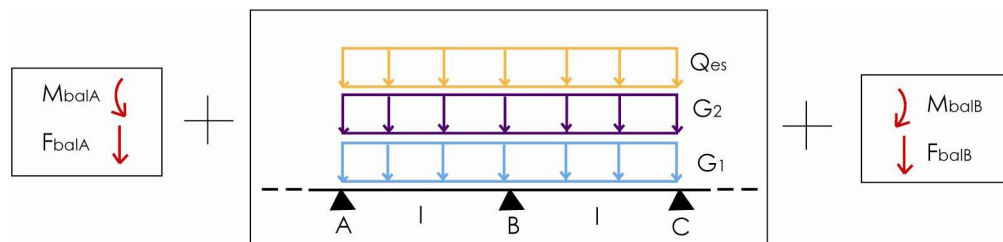


Fig.IV.12 - Modellazione della soletta con i azioni

Il balcone si compone di elementi in larix e di una veranda al lato sud. Delle trave di dimensione 18x14x190 cm sono fissate alle solette alveolare tramite un taglio termico armato legato con calcestruzzo. Un rivestimento e un parapetto in lastre di legno fanno la finizione. Per il calcolo del peso non strutturale, piuttosto che di calcolare il peso dei diversi listelli e delle lastre, si considera una lastra di larix di 3 cm di spessore.

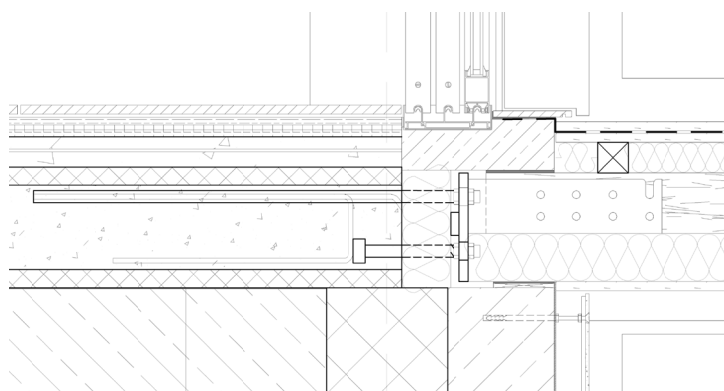


Fig.IV.13 - Dettaglio di fissaggio dei balconi nella soletta

Densità del larix	ρ_{larix}	550	kg/m ³
Trave in larix			
b_{bal} , larghezza	b_{bal}	0.14	m
h_{bal} , altezza	h_{bal}	0.18	m
l_{bal} , lunghezza	l_{bal}	1.90	m
a , interasse	a	0.60	m
Spessore della soletta del balcone	e	3	cm

PESO PROPRIO DEL BALCONE	$G_{1,bal}$	0.40	kN/m²
---------------------------------	-------------------------------	-------------	-------------------------

Al sud ci sono le verande costituite da pannelli di 0.8 x 3 m. Il peso di tale porta-finestra essendo notevole, studiamo i due casi estremi :

- veranda totalmente aperta :

Parte del peso è distribuito lungo la trave, si modella una forza lineare equirepartita $G_{2,ver}$. Il resto del peso forma la chiusura all'estremità del balcone, trasversalmente alla trave. Si modella una forza puntuale F_{ver} .

- veranda totalmente chiusa :

Tutte le porte finestre sono appoggiate contro il muro esterno. Si modella una forza puntuale all'inizio della trave. La ripartizione delle porte è di metà di ogni lato della finestra. Come la larghezza delle porte sono di 80 cm, su una larghezza di balcone di 1 metro, si può considerare avere la metà del peso totale. La forza puntuale è : $F_{ver,tot}$

Porte finestre della veranda

Larghezza di un pannello	0.80	m
Altezza	3.00	m
Larghezza della veranda	1.60	m
Lunghezza della veranda	4.00	m
Peso lineare di una porta finestra	1.25	kN/m

CARICO LINEARE DELLA VERANDA APERTA	$G_{2,ver}$	(= 1.25 · 1.60 / 1.90) 1.05	kN/m²
FORZE PUNTUALE DELLA VERANDA APERTA	F_{ver}	1.25	kN/m²
FORZE PUNTUALE DELLA VERANDA CHIUSA	$F_{ver,tot}$	(= 1.25 · 7.2 / 2) 4.50	kN/m²

Si aggiunge di più la forza verticale del peso del parapetto, e la forza orizzontale di appoggio sul corrimano che crea un momento.

Parapetto

Altezza totale	1.50	m
Spessore delle lastre	0.03	m
Altezza del corrimano	1.30	m

PESO PUNTUALE DEL PARAPETTO	F_{par}	0.23	kN/m²
FORZE ORIZZONTALE SUL PARAPETTO	H_{par}	0.50	kN/m²
MOMENTO IN A DEL PARAPETTO	M_{par}	0.75	kN/m²

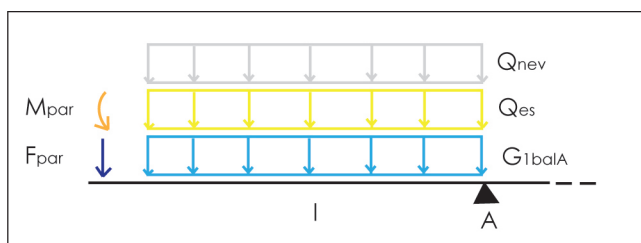
Si aggiunge il carico di esercizio anzi che il carico di neve per i balconi senza veranda (chiusa sotto un rischio di neve in modo di proteggersi dal freddo).

PESO D'ESERCIZIO	$Q_{es,bal}$	4.00	kN/m²
CARICO DELLA NEVE	$Q_{nev,bal}$	1.25	kN/m²

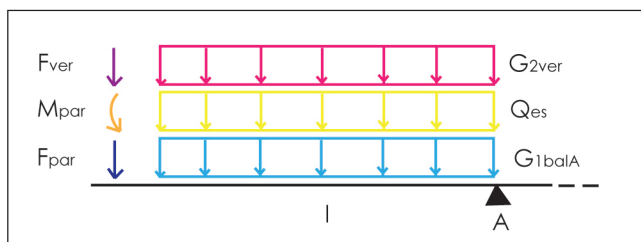
Si applica le stesse combinazioni d'azioni che per la soletta interna per ogni caso di studio :

1. Balcone sud da solo senza veranda
2. Balcone sud con una veranda aperta
3. Balcone sud con una veranda chiusa
4. Balcone sud e nord
5. Balcone sud con una veranda aperta e balcone nord
6. Balcone sud con una veranda chiusa e balcone nord

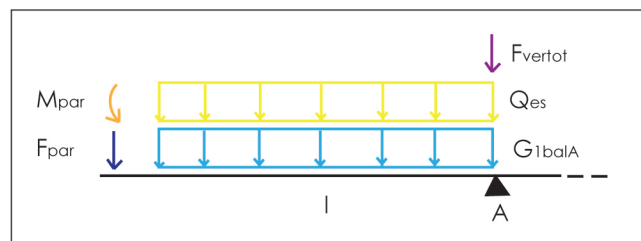
Il sistema non è più simmetrico. Gli effetti ai punti A (sud) e B (nord) sono diversi. Il balcone fissato alla soletta in un incastro, trasferisce i momenti. La soletta, lei, è appoggiata sulle trave di bordo. Si ha un sistema appoggiata su due articolazione, con i momenti e forze dei balconi alle estremità.



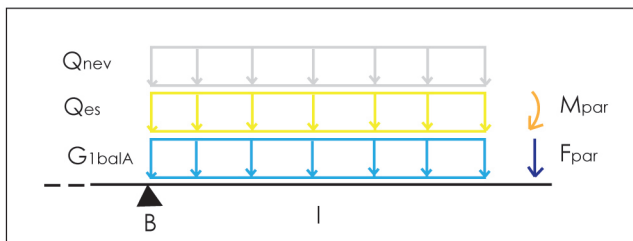
Balcone senza veranda



Balcone veranda aperta



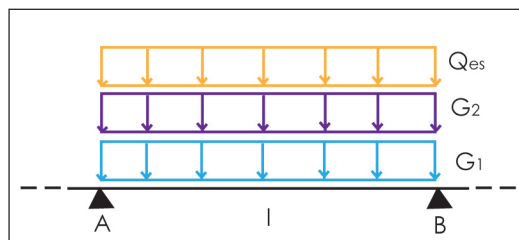
Balcone veranda chiusa



Balcone senza veranda

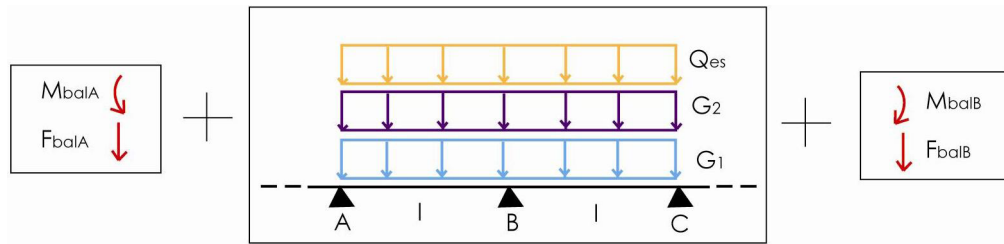


Senza balcone



C. Combinazione agli stati limite ultimi

Combinazione A - Equipartizione delle azioni



Coefficienti a sfavore di sicurezza :

$$\gamma_{G1} = 1.3 \quad ; \quad \gamma_{G2} = 1.5 \quad ; \quad \gamma_{Q1} = 1.5$$

Combinazione di carichi per 1m di larghezza della soletta :

$$p = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} = 11.68 \text{ kN/m}^2$$

Reazioni ai appoggi :

$$R_A = F_{balA} + \frac{3pl}{8} + \frac{M_{balA}}{l}$$

$$R_B = \frac{5pl}{4} - \frac{M_{balA} + M_{balC}}{l}$$

$$R_C = F_{balC} + \frac{3pl}{8} + \frac{M_{balC}}{l}$$

Espressioni analitiche dei diagrammi del taglio e del momento flettente :

Sulla prima campata, per $0 \leq x \leq 4 \text{ m}$:

$$V_1(x) = R_A - F_{balA} - px$$

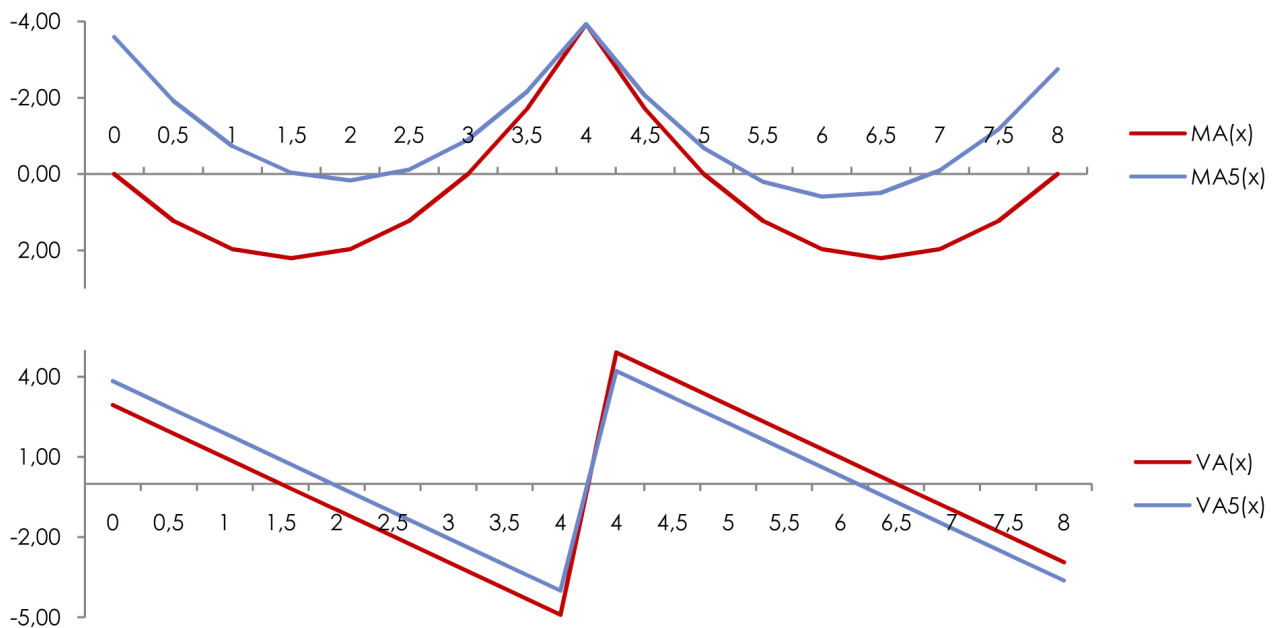
$$M_1(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x - p \cdot \frac{x^2}{2}$$

Sulla seconda campata, per $4 \leq x \leq 8 \text{ m}$:

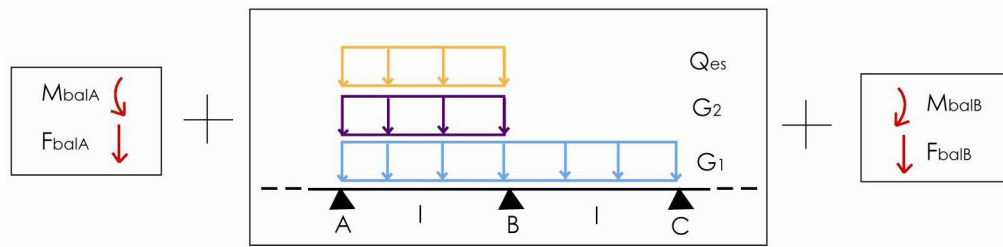
$$V_2(x) = R_A - F_{balA} + R_B - px$$

$$M_2(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x + R_B \cdot (x-4) - (p+q) \cdot \frac{x^2}{2}$$

Si nota che i casi 0 (senza balconi) e 5 (Balcone sud con una veranda aperta e balcone nord) danno i valori di momenti e tagli i più estremi. I diagrammi dei momenti e tagli sono dunque compresi tra le curve di questi due casi estremi :



Combinazione B - Azioni non strutturali e variabili sulla campata sinistra



Coefficienti a sfavore di sicurezza :

$$\gamma_{G1} = 1.3 \quad ; \quad \gamma_{G2} = 1.5 \quad ; \quad \gamma_{Q1} = 1.5$$

Combinazione di carichi per 1m di larghezza della soletta :

$$p = \gamma_{G1} G_1 = 6.88 \text{ kN/m}^2$$

$$q = \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

Reazioni ai appoggi :

$$R_A = F_{balA} + \frac{3pl}{8} + \frac{7ql}{16} + \frac{M_{balA}}{l}$$

$$R_B = \frac{5pl}{4} + \frac{5ql}{8} - \frac{M_{balA} + M_{balC}}{l}$$

$$R_C = F_{balC} + \frac{3pl}{8} - \frac{ql}{16} + \frac{M_{balC}}{l}$$

Espressioni analitiche dei diagrammi del taglio e del momento flettente :

 Sulla prima campata, per $0 \leq x \leq 4 \text{ m}$:

$$V_1(x) = R_A - F_{balA} - (p+q) \cdot x$$

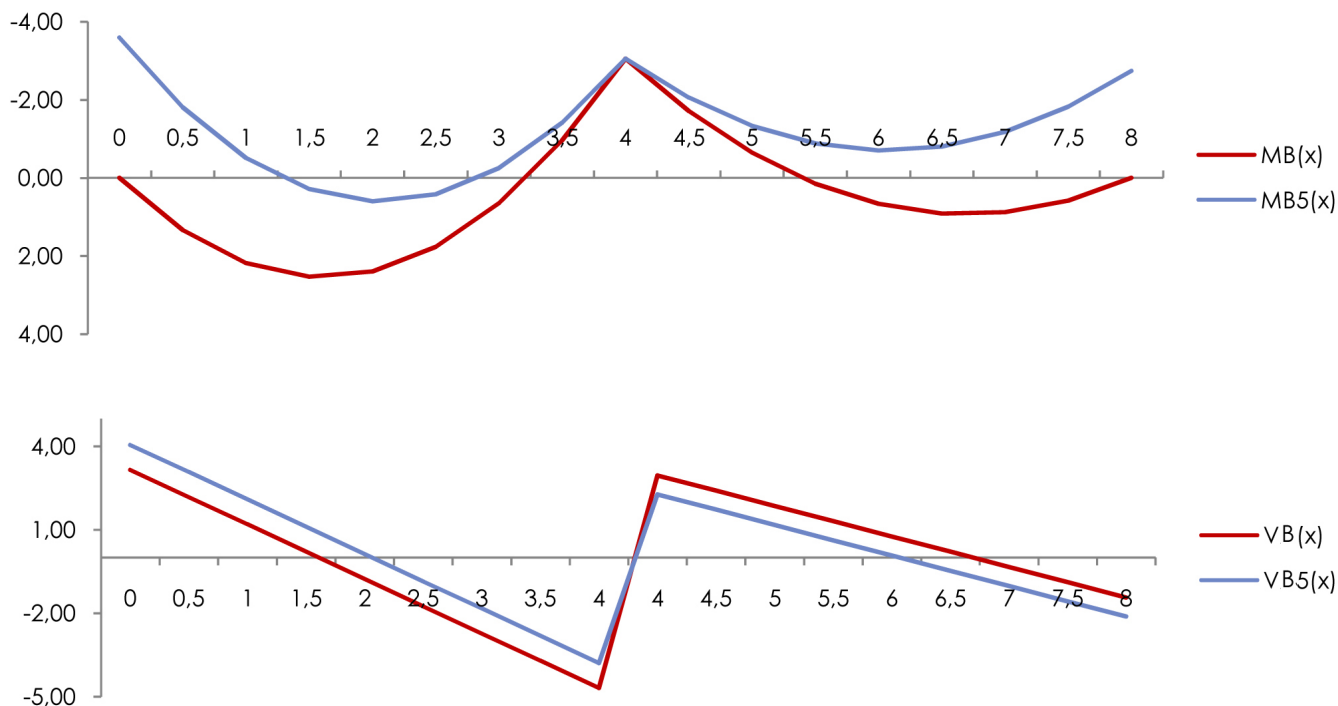
$$M_1(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x - (p+q) \cdot \frac{x^2}{2}$$

 Sulla seconda campata, per $4 \leq x \leq 8 \text{ m}$:

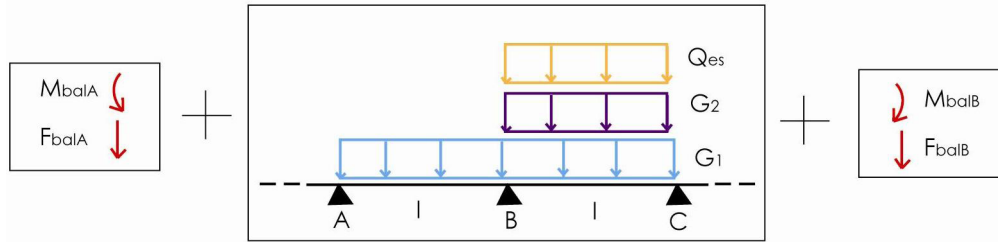
$$V_2(x) = R_A - F_{balA} + R_B - px - ql$$

$$M_2(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x + R_B \cdot (x-4) - p \cdot \frac{x^2}{2} - ql \cdot (x - \frac{1}{2})$$

I stessi casi estremi inquadrano i diversi valori di tagli e momenti.



Combinazione C - Simmetria della combinazione B



Coefficienti a sfavore di sicurezza :

$$\gamma_{G1} = 1.3 \quad ; \quad \gamma_{G2} = 1.5 \quad ; \quad \gamma_{Q1} = 1.5$$

Combinazione di carichi per 1m di larghezza della soletta :

$$p = \gamma_{G1} G_1 = 6.88 \text{ kN/m}^2$$

$$q = \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

Reazioni ai appoggi :

$$R_A = F_{balA} + \frac{3pl}{8} - \frac{ql}{16} + \frac{M_{balA}}{l}$$

$$R_B = \frac{5pl}{4} + \frac{5ql}{8} - \frac{M_{balA} + M_{balC}}{l}$$

$$R_C = F_{balC} + \frac{3pl}{8} + \frac{7ql}{16} + \frac{M_{balC}}{l}$$

Espressioni analitiche dei diagrammi del taglio e del momento flettente :

Sulla prima campata, per $0 \leq x \leq 4 \text{ m}$:

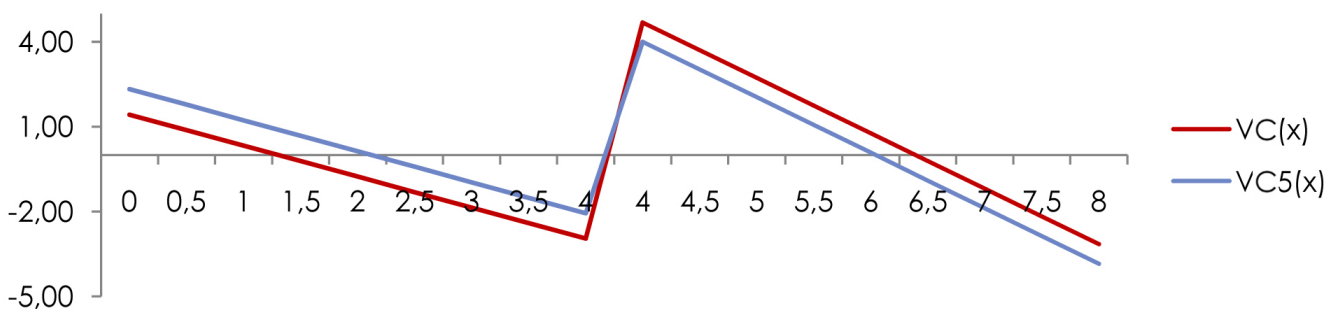
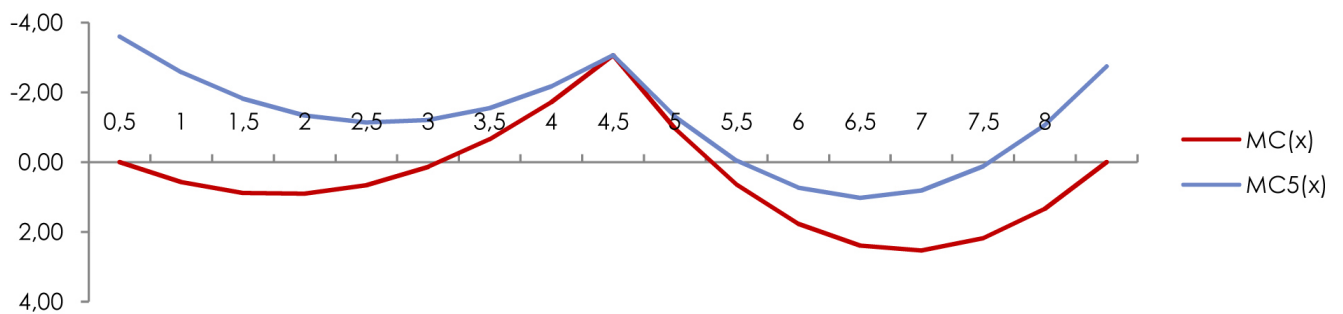
$$V_1(x) = R_A - F_{balA} - p \cdot x$$

$$M_1(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x - p \cdot \frac{x^2}{2}$$

Sulla seconda campata, per $4 \leq x \leq 8 \text{ m}$:

$$V_2(x) = R_A - F_{balA} + R_B - p \cdot x - q \cdot (x - l)$$

$$M_2(x) = M_{balA} + (R_A - F_{balA}) \cdot x + R_B \cdot (x - l) - p \cdot \frac{x^2}{2} - q \cdot \frac{(x - l)^2}{2}$$



a. Diagramma involuppo dei momenti flettenti

Per il dimensionamento delle armature e per le successive verifiche flessionali agli stati limite ultimi, conformemente alle prescrizioni dell'Eurocodice 2, il diagramma involuppo deve essere traslato, nella direzione più sfavorevole, di una quantità pari all'altezza utile della sezione:

$$d = (h - c - \varphi/2)$$

con,

h	altezza della sezione
c	copriferro
φ	diametro delle barre di armatura

Per il copriferro si fa riferimento alle prescrizioni date al punto 4.4.1. dell'Eurocodice [23]

$$c_{\min} = \max (c_{\min,b} ; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm})$$

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}$$

con :

$c_{\min,b}$ copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza : $c_{\min,b} = \text{Max } \bar{\sigma} = 9.3 \text{ mm}$

$c_{\min,dur}$ copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali:

$$c_{\min,dur} (X0;S2) = 10 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dur,\gamma}$ margine di sicurezza

$\Delta c_{dur,st}$ riduzione del copriferro minimo quando si utilizza acciaio inossidabile

$\Delta c_{dur,add}$ riduzione del copriferro minimo quando si ricorre a protezione aggiuntiva

$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$ (non essendo previsto l'uso di armature di acciaio inossidabile né la adozione di specifiche misure di protezione)

Δc_{dev} margine di progetto per gli scostamenti. Nell'Eurocode : 10 mm

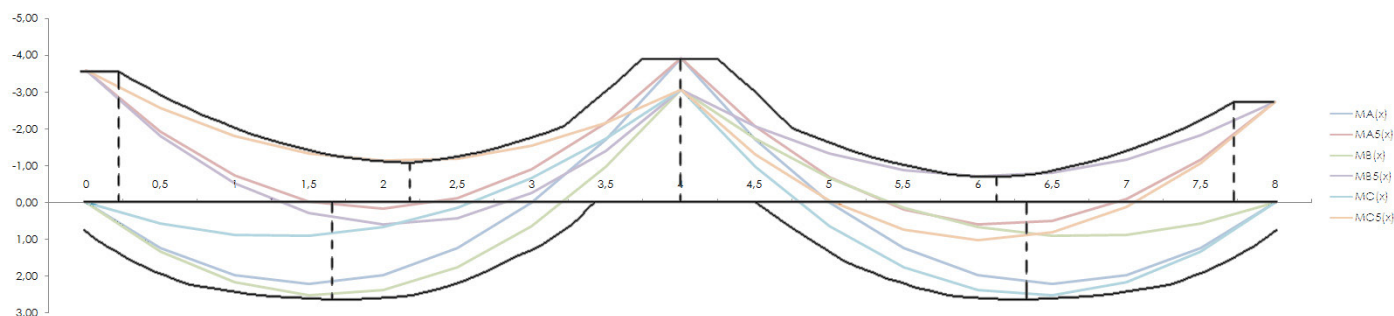


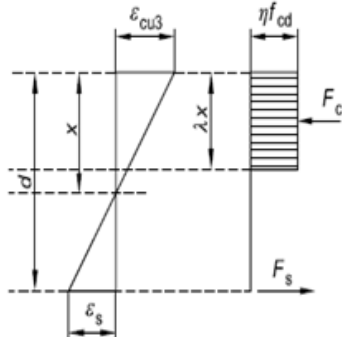
Fig.IV.14 - Spostamento dei momenti in soletta dell'altezza utile d

La soletta alveolare è appoggiata su 10 cm delle travi di bordo. Dove si trovano le fissazioni dei balconi, la sezione della soletta cambia attorno ai 80 cm, oltre la peculiarità del momento alle estremità. Tranne questi punti di fissaggio, non c'è nessuno cambio di sezione nella soletta. Consideriamo una soletta senza il fissaggio del balcone.

b. Predimensionamento delle armature

Per il predimensionamento delle armature, si pone nel caso di frattura :

- le armature sostengono le tensioni massimali f_{yd} ,
- il calcestruzzo sostiene le compressioni in modo plastico.



Secondo l'Eurocodice, si può semplificare la distribuzione parabolica di tensioni in modo plastico in una distribuzione rettangolare.

Si introducono allora due coefficiente :

λ che definisce l'altezza efficace della zona di compressione,

η che definisce la resistenza effettiva.

Con $50 < f_{ck} = 53 \text{ N/mm}^2$, si ha :

$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400 = 0.793 \quad (3.20 - [23])$$

$$\eta = 1.0 - (f_{ck} - 50)/200 = 0.985 \quad (3.22 - [23])$$

Si ha rottura solo per un asse neutro inferiore a :

$$\bar{x} = d \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 76.16 \text{ mm} \quad \text{with } \epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

Si determina l'asse neutro con l'equazione di equilibrio alla rotazione. Con $x < 90 \text{ mm}$, l'area compresa è un rettangolo di dimensione λx per $b = 180 \text{ mm}$.

$$M_{Ed} = \lambda x b \eta f_{cd} (d - \lambda x/2)$$

Si determinano poi le aree di armature requisite dall'equazione di equilibrio alla traslazione :

$$\lambda x b \eta f_{cd} - A_{s,req} f_{yd} = 0$$

Con i limiti minimali definiti dall'Eurocodice :

$$A_{s,req} \geq A_{s,min} = 0.26 f_{ctm} / f_{yk} b_t d > 0.0013 b_t d$$

$$A_{s,req} \geq 24.49 \text{ mm}^2 > 13.26 \text{ mm}^2$$

Momento estremo	$ M_{Ed} $ (kN.m)	x (mm)	$A_{s,req}$ (mm ²)	n°	ϕ (mm)	A_s (mm ²)
all'estremità (negativo)	3.59	17.54	42.03	1	9.3	67.93
in campata (positivo)	2.53	12.24	29.33	1	7.0	38.48
in campata (negativo)	1.13	5.40	12.94	1	5.0	19.63
alla continuità (negativo)	3.92	19.21	46.04	1	9.3	67.93
in campata (positivo)	2.53	12.24	29.32	1	7.0	38.48
in campata (negativo)	0.71	3.38	8.10	1	5.0	19.63
all'estremità (negativo)	2.74	13.28	31.83	1	7.0	38.48

* Le armature a disposizione per la soletta sono di diametro : 12,5 / 9,3 / 7 / 5 mm

c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione

Con riferimento alle ipotesi di calcolo illustrate al precedente paragrafo, si fa la verifica a flessione con le aree di armatura scelta.

L'equilibrio alla traslazione, si da l'asse neutro :

$$\lambda \times b \eta f_{cd} - A_s f_{yd} = 0$$

L'equilibrio alla rotazione, si da il momento da non superare :

$$M_{Rd} = \lambda \times b \eta f_{cd} (d - \lambda x/2)$$

$ M_{Ed} $ (kN.m)	A_s (mm ²)	ω_s	x (mm)	z (mm)	M_{Rd} (kN.m)	$M_{Rd} / M_{Ed} $
3.59	67.93	0.10	27.92	214.29	5.70	1.59
2.53	38.48	0.06	15.82	219.08	3.30	1.30
1.13	19.63	0.03	8.07	222.15	1.71	1.51
3.92	67.93	0.10	27.92	214.29	5.70	1.45
2.53	38.48	0.06	15.82	219.08	3.30	1.30
0.71	19.63	0.03	8.07	222.15	1.71	2.40
2.74	38.48	0.06	15.82	219.08	3.30	1.20

d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio

Si valuta dapprima la resistenza che il solaio è in grado di fornire in assenza di armatura trasversale :

$$V_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \left[\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (6.2a - [23])$$

con $\rho_l = A_s / (b_w \cdot d)$
 $f_{ck} = 53 \text{ N/mm}^2$
 $b_w = 40 \text{ mm}$
 $d = 226.5 \text{ mm}$

è il rapporto geometrico di armatura longitudinale (≤ 0.02),

è la larghezza minima della sezione,

è l'altezza utile della sezione,

A_s	$\rho_l \leq 0.02$	$V_{Rd,c} \text{ (kN)}$
67.93	0.008	3.60
38.48	0.006	3.43
19.63	0.004	3.00
67.93	0.008	3.60
38.48	0.006	3.43
19.63	0.004	3.00
38.48	0.004	3.00

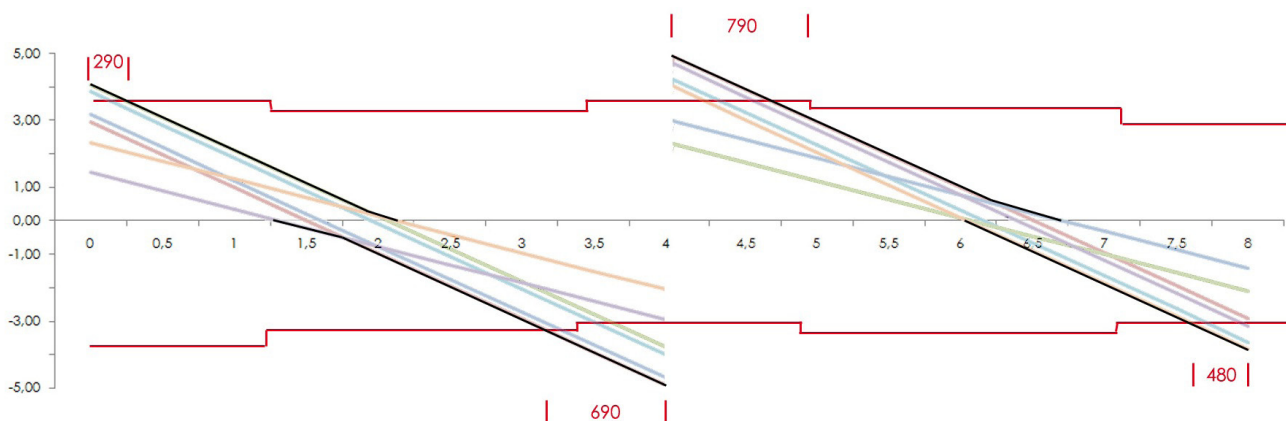


Fig.IV.15 - Tagli in soletta e distanza in mm di sovrapposizione dei tagli estremi

Si osserva che rimangono scoperti i tratti in prossimità degli appoggi e della continuità :

- all'estremità A (balcone Sud), è scoperto su una distanza 290 mm (taglio positivo);
- alla continuità, su 690 mm (taglio negativo) e 790 mm (taglio positivo);
- all'estremità C (balcone Nord) su una distanza di 480 mm (taglio negativo).

Si ipotizza di disporre ferri piegati di diametro φ 5 mm ($A_s = 19.63 \text{ mm}^2$) con $\alpha = 45^\circ$, si assorbirà in tal modo l'azione tagliante relativa ad un concio di lunghezza pari a :

$$\Delta x = 0.9 d (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) \approx 608 \text{ mm}$$

I tagli limiti da non superare sono allora :

$$V_{Rd,s} = A_s 0.9 d f_{yd} \sin \alpha (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) / \Delta x = 5.43 \text{ kN} > V_{Ed} \text{ (per tutti x)} \quad (6.8 [23])$$

E il taglio massimale da non superare è :

$$V_{Rd,max} = b 0.9 d 0.5 f_{yd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) / (1 + \text{ctg}^2 \psi) = 73 \text{ kN} \gg V_{Ed} \text{ (per tutti x)} \quad (4.1.19 [24])$$

e. Tracciato delle armature

Per determinare il tracciato delle armature si deve procedere al calcolo delle lunghezze di ancoraggio, secondo l'Eurocodice 2.

Si comincia con il valore teorico della lunghezza di ancoraggio :

$$l_{b,rqd} = (\varphi \sigma_s) / (4 f_{bd}) \quad (8.3 - [24])$$

dove: σ_s è la tensione nella barra da ancorare allo stato ultimo, cioè f_{yd}

$f_{bd} = 2.25 \eta f_{ctd}$ è il valore di calcolo della tensione tangenziale di aderenza

$\eta = 1.0$ per barre di diametro $\varphi \leq 32 \text{ mm}$

$f_{ctd} = f_{ctm} / \gamma_c$ è la resistenza alla trazione di progetto

allora: $f_{bd} = 2.25 \eta f_{ctd}$

Si ottiene : $l_{b,rqd} = 15.68 \varphi$
 $= 79 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 5 mm
 $= 110 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 7 mm
 $= 146 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 9.3 mm

Il valore di progetto della lunghezza di ancoraggio è allora:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \quad (8.4 - [24])$$

$\alpha_1 = 1.0$ per ancoraggio in rettilineo tanto in trazione quanto in compressione

$\alpha_2 = 1 - 0.15 (c_d - \varphi) / \varphi \leq 1.0$ per ancoraggio di barre tese

con: $c_d = \min (a/2, c, c_1)$
 $a = \max (20 \text{ mm}, \varphi, d_g + 5 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$ (interferro)
 $d_g = 20 \text{ mm}$ - diametro max aggregato = 20 mm
 b larghezza della sezione al livello delle armature
 $c_1 = 0.5 (b - 2\varphi - a)$
 $= 32.5 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 5 mm
 $= 30.5 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 7 mm
 $= 28.2 \text{ mm}$ per le barre di diametro φ 9.3 mm
 $c = 20 \text{ mm}$

D. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio

Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (§ 4.1.2.2.5. - [8]) viene prescritto la valutazione delle tensioni nei materiali sia dalla combinazione caratteristica (rara) sia dalla combinazione quasi permanente delle azioni, da confrontarsi con valori massimi consentiti, definiti in funzione della combinazione di azioni desiderata. Si procede pertanto al calcolo delle azioni interne nella struttura dovute alle combinazioni di azioni sotto definite ed al calcolo delle tensioni da esse prodotte.

a. Combinazione caratteristica (rara)

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + G_2 + Q_{k,es} + \psi_{0,n} Q_{k,n}$$

con :

$$G_1 = 4.69 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + Q_{k,es} = 3.20 \text{ kN/m}^2$$

L'equazione di equilibrio alla traslazione si da l'asse neutro. Per il calcolo dell'area compressa, facciamo l'ipotesi che x si trova nell'anima : $80 \text{ mm} \leq x \leq 172 \text{ mm}$. Le aree di calcestruzzo rispettivamente compressa e tesa, sono :

$$A_H = (180 \cdot 80) + 40 (x - 80) = 40 x + 11200$$

$$A_B = 28280 - A_H = -40 x + 17080$$

Equazione di equilibrio alla traslazione :

$$\sigma_c A_H - \sigma'_c A_B - \sigma_s A_S = 0 \quad (E)$$

La linearità delle deformazione si da :

Allora :

$$\varepsilon'_c = \frac{h-x}{x} \varepsilon_c \Leftrightarrow \sigma'_c = \frac{h-x}{x} \sigma_c \quad ; \quad \varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \varepsilon_c \Leftrightarrow \sigma'_s = \alpha_E \frac{d-x}{x} \sigma_c$$

$$(E) \Leftrightarrow A_H - A_B (h-x)/x - \alpha_E A_S (d-x)/x = 0$$

$$\Leftrightarrow x = (17080 h + \alpha_E A_S d) / (A_C + \alpha_E A_S + 40 h)$$

Attraverso l'equazione di equilibrio alla rotazione si possono calcolare i valori di sforzo nei materiali, da confrontarsi con i rispettivi valori ammissibili.

Equazione di equilibrio alla rotazione :

$$M_{Ed} = \sigma_c A_H \frac{2}{3} x + \sigma'_c A_B \frac{2(h-x)}{3} + \sigma_s A_S (d-x)$$

$$\Leftrightarrow \sigma_c = m_c M_{Ed}$$

Da proporzionalità si ha :

$$\sigma'_c = m_c \frac{h-x}{x} M_{Ed} \quad \text{e} \quad \sigma_s = m_c \alpha_E \frac{d-x}{x} M_{Ed}$$

MEd (kN.m)	m _c	m' _c	m _s	σ _c (N/mm ²)	σ' _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
-3.59	0.38	0.45	5.48	-1.35	-1.60	-19.67
1.81	0.38	0.46	5.64	0.69	0.83	10.21
-1.18	0.38	0.47	5.75	-0.45	-0.55	-6.78
-2.84	0.38	0.45	5.48	-1.07	-1.27	-15.56
1.81	0.38	0.46	5.64	0.69	0.83	10.21
-0.81	0.38	0.47	5.75	-0.31	-0.38	-4.65
-2.74	0.38	0.46	5.64	-1.04	-1.26	-15.45
				18.02	3.46	313.04
				0.6 f _{cd}	f _{ctm} /1.2	0.8 f _{yd}

b. Combinazione quasi permanente

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$$

con :

$$G_1 = 4.69 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} = 1.80 \text{ kN/m}^2$$

La variazione con la combinazione caratteristica non è abbastanza grande per fare una differenza notevole. Si ha quasi le stesse tensioni nei materiali che calcolate prima.

MEd (kN.m)	m_c	m'_c	m_s	σ_c (N/mm ²)	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
-3.59	0.38	0.45	5.48	-1.35	-1.60	-19.67
1.44	0.38	0.46	5.64	0.55	0.66	8.12
-1.02	0.38	0.47	5.75	-0.39	-0.48	-5.86
-2.84	0.38	0.45	5.48	-1.07	-1.27	-15.56
1.44	0.38	0.46	5.64	0.55	0.66	8.12
-0.69	0.38	0.47	5.75	-0.26	-0.32	-3.97
-2.74	0.38	0.46	5.64	-1.04	-1.26	-15.45
				18.02	3.46	313.04
				0.6 f_{cd}	$f_{ctm}/1.2$	0.8 f_{yd}

c. Combinazione frequente (per la fessurazione)

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es} + \psi_{1,n} Q_{k,n}$$

con :

$$G_1 = 4.69 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es} = 2.20 \text{ kN/m}^2$$

MEd (kN.m)	m_c	m'_c	m_s	σ_c (N/mm ²)	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
-3.59	0.38	0.45	5.48	-1.35	-1.60	-19.67
1.54	0.38	0.46	5.64	0.58	0.71	8.68
-1.07	0.38	0.47	5.75	-0.41	-0.50	-6.15
-2.48	0.38	0.45	5.48	-0.94	-1.11	-13.59
1.54	0.38	0.46	5.64	0.58	0.71	8.68
-0.72	0.38	0.47	5.75	-0.27	-0.34	-4.14
-2.74	0.38	0.46	5.64	-1.04	-1.26	-15.45
				18.02	3.46	313.04
				0.6 f_{cd}	$f_{ctm}/1.2$	0.8 f_{yd}

d. Verifica della fessurazione

Si deve verificare che sotto combinazione frequente il valore di calcolo dell'ampiezza di fessura non superi il valore $w_3 = 0.4 \text{ mm}$ e che sotto combinazione quasi permanente non venga ecceduto il valore limite $w_2 = 0.3 \text{ mm}$.

Dai Prospetti 7.2 e 7.3 [7], si deve rispettare :

- sotto combinazione frequente, una tensione massimale : $\sigma_s \geq 380 \text{ N.mm}^2$ per $\varphi \leq 9.3 \text{ mm}$
- sotto combinazione quasi permanente : $\sigma_s \geq 340 \text{ N.mm}^2$ per $\varphi \leq 9.3 \text{ mm}$

Visto che la nostra tensione massimale nelle armature è inferiore a 20 N.mm^2 non c'è fessurazione.

e. Controllo delle deformazioni

La deformabilità può essere omessa, se è soddisfatta la verifica allo SLE di deformazione, per solai e travi con luci non superiori a 10 m, qualora la struttura possieda una snellezza $\lambda = l/d$ (luce/altezza utile della sezione) inferiore ad un valore limite così calcolato:

$$\lambda = 17.75 \leq K \left(11 + \frac{0.0015 f_{ck}}{\rho} \right) \left(\frac{500A_s}{f_{yk} A_{s,req}} \right) \ll \lambda_{max}$$

A_s	ρ	$A_{s,req}$	λ_{max}
67.93	0.008	42.03	50.31
38.48	0.004	29.33	56.14
19.63	0.002	12.94	104.12
67.93	0.008	46.04	45.93
38.48	0.004	29.32	56.16
19.63	0.002	8.10	166.31
38.48	0.004	31.83	51.72

3. CALCOLO DEL SOLAIO DI COPERTURA

La copertura piana è luogo del giardino della residenza. Alberi e arbusti creano un bordo verde lungo le facciate nord e sud. In mezzo una soletta verde o a pavimentazione galleggiante creano un spazio di cammino e di riposo. Rispetto alla soletta dei altri piani, il peso importante dovuti ai alberi necessita una soletta rinforzata. A questo livello non ci sono balconi da prendere in conto.

Si segue lo stesso metodo che per i solai dei piani di abitazione, considerando avere una trave di calcestruzzo a sezione a I.

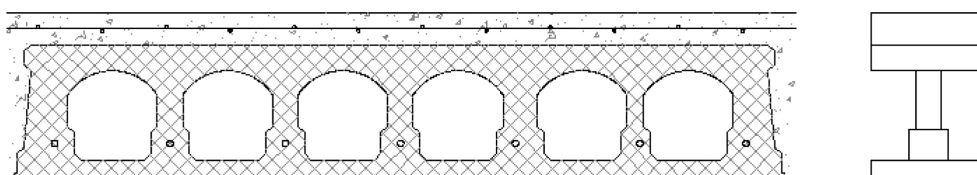


Fig.IV.17 - Soletta alveolare della copertura

SCF 20/120 con getto collaborante					
	X (mm)	Y (mm)	S (mm ²)	y _G (mm)	Inertie (mm ⁴)
Getto collaborante	180	50	9000	25	1.88E+06
Ala superiore	180	30	5400	65	4.05E+05
Anima	40	92	3680	126	2.60E+06
Ala inferiore 1	100	48	4800	196	9.22E+05
Ala inferiore 2	180	30	5400	235	4.05E+05
TOTALE		250	28280	114.90	2.02E+08

Come presente nel paragrafo 1.2.4 le azioni sono :

- Il peso strutturale della soletta :

$$G_{1,cop} = 4.36 \text{ kN/m}^2$$

- Il peso permanente non strutturale degli alberi e della pavimentazione :

$$\text{per } 0 < x < 1.5 \text{ m} \quad G_{1,alb} = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{per } 1.5 < x < 6.5 \text{ m} \quad G_{1,pav} = 3.02 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{per } 6.5 < x < 8 \text{ m} \quad G_{1,alb} = 25 \text{ kN/m}^2$$

- Il carico di esercizio :

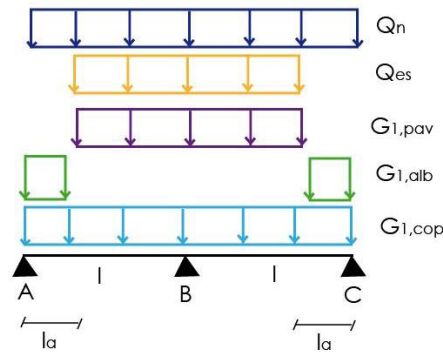
$$\text{per } 1.5 < x < 6.5 \text{ m} \quad Q_{es} = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

- Il carico di neve :

$$Q_n = 1.25 \text{ kN/m}^2$$

A. Combinazione agli stati limite ultimi

Combinazione A - Equipartizione delle azioni



Coefficienti a sfavore di sicurezza : $\gamma_{G1} = 1.3$; $\gamma_Q = 1.5$; $\psi_{0,es} = 0.7$; $\psi_{0,n} = 0.5$

Lunghezza di carico : $l_a = 1.5 \text{ m}$; $l = 4 \text{ m}$

Combinazione di carichi per 0.18 m della trave in calcestruzzo :

$$p = \gamma_{G1} G_{1,cop} = 1.02 \text{ kN/m}$$

$$p_\alpha = \gamma_{G1} G_{1,alb} = 5.85 \text{ kN/m}$$

$$p_p = \gamma_{G1} G_{1,cop} = 0.71 \text{ kN/m}$$

carico di esercizio dominante $q_{es} = \gamma_Q Q_{es} = 0.54 \text{ kN/m}$; $q_n = \gamma_Q \psi_{0,n} Q_n = 0.17 \text{ kN/m}$

carico di neve dominante $q_{es} = \gamma_Q \psi_{0,es} Q_{es} = 0.24 \text{ kN/m}$; $q_n = \gamma_Q Q_n = 0.34 \text{ kN/m}$

Reazioni ai appoggi :

$$R_A = \frac{3pl}{8} + p_\alpha l_a \left(1 - \frac{l_a}{2l}\right) + (p_p + q_{es}) \frac{(l-l_a)^2}{2l} + \frac{3q_n l}{8}$$

$$R_B = \frac{5pl}{4} + p_\alpha \frac{l_a^2}{l} + (p_p + q_{es}) \frac{l^2 - l_a^2}{l} + \frac{5q_n l}{4}$$

$$R_C = \frac{3pl}{8} + p_\alpha l_a \left(1 - \frac{l_a}{2l}\right) + (p_p + q_{es}) \frac{(l-l_a)^2}{2l} + \frac{3q_n l}{8}$$

Espressioni analitiche dei diagrammi del taglio e del momento flettente :

Sulla prima campata, per $0 \leq x \leq 1.5 \text{ m}$:

$$V_1(x) = R_A - (p + p_\alpha + q_n) x$$

$$M_1(x) = R_A x - (p + p_\alpha + q_n) \frac{x^2}{2}$$

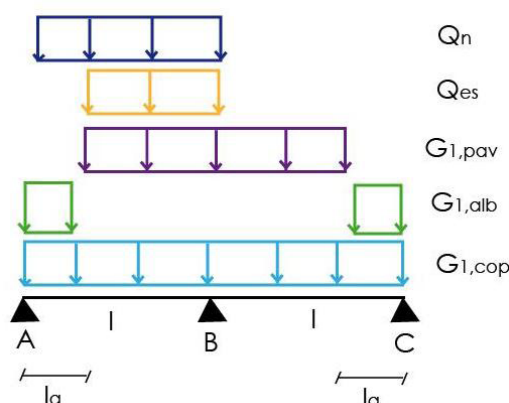
Sulla prima campata, per $1.5 \leq x \leq 4 \text{ m}$:

$$V_2(x) = V_1(1.5) - (p_p + q_{es}) (x - l_a)$$

$$M_2(x) = R_A x - p_\alpha l_a \left(x - \frac{l_a}{2}\right) - (p + p_n) \frac{x^2}{2} - (p_p + q_{es}) \frac{(x-l_a)^2}{2}$$

La seconda campata si determina per simmetria.

Combinazione B - Azioni non strutturali e variabili sulla campata sinistra



Coefficienti a sfavore di sicurezza : $\gamma_{G1} = 1.3$; $\gamma_Q = 1.5$; $\psi_{0,es} = 0.7$; $\psi_{0,n} = 0.5$

Lunghezza di carico : $l_a = 1.5$ m ; $l = 4$ m

Combinazione di carichi per 0.18 m della trave in calcestruzzo :

$$p = \gamma_{G1} G_{1,cop} = 1.02 \text{ kN/m}$$

$$p_a = \gamma_{G1} G_{1,alb} = 5.85 \text{ kN/m}$$

$$p_p = \gamma_{G1} G_{1,cop} = 0.71 \text{ kN/m}$$

carico di esercizio dominante $q_{es} = \gamma_Q Q_{es} = 0.54 \text{ kN/m}$; $q_n = \gamma_Q \psi_{0,n} Q_n = 0.17 \text{ kN/m}$

carico di neve dominante $q_{es} = \gamma_Q \psi_{0,es} Q_{es} = 0.24 \text{ kN/m}$; $q_n = \gamma_Q Q_n = 0.34 \text{ kN/m}$

Reazioni ai appoggi :

$$R_A = \frac{3pl}{8} + p_a l_a \left(1 - \frac{l_a}{2l}\right) + (p_p + q_{es}) \frac{(l-l_a)^2}{2l} + \frac{q_n l}{2}$$

$$R_B = \frac{5pl}{4} + p_a \frac{l_a^2}{l} + p_p \frac{l^2 - l_a^2}{l} + q_{es} \frac{l^2 - l_a^2}{2l} + \frac{q_n l}{2}$$

$$R_C = \frac{3pl}{8} + p_a l_a \left(1 - \frac{l_a}{2l}\right) + p_p \frac{(l-l_a)^2}{2l}$$

Espressioni analitiche dei diagrammi del taglio e del momento flettente :

Sulla prima campata, per $0 \leq x \leq 1.5$ m :

$$V_1(x) = R_A - (p + p_a + q_n) x$$

$$M_1(x) = R_A x - (p + p_a + q_n) \frac{x^2}{2}$$

Sulla prima campata, per $1.5 \leq x \leq 4$ m :

$$V_2(x) = V_1(1.5) - (p + p_p + q_{es} + q_n) x$$

$$M_2(x) = R_A x - p_a l_a \left(x - \frac{l_a}{2}\right) - (p + p_n) \frac{x^2}{2} - (p_p + q_{es}) \frac{(x-l_a)^2}{2}$$

Sulla seconda campata, per $4 \leq x \leq 6.5$ m :

$$V_3(x) = V_2(4) + R_B - (p + p_p) x$$

$$M_3(x) = R_A x + R_B (x-l) - p_a l_a \left(x - \frac{l_a}{2}\right) - q_{es} (l-l_a) \left(x - \frac{l-l_a}{2}\right) - p_n l \left(x - \frac{l}{2}\right) - p \frac{x^2}{2} - p_p \frac{(x-l_a)^2}{2}$$

Sulla seconda campata, per $6.5 \leq x \leq 8$ m :

$$V_4(x) = V_3(4) - (p + p_a) x$$

$$M_4(x) = R_A x + R_B (x-l) - p_a l_a \left(x - \frac{l_a}{2}\right) - q_{es} (l-l_a) \left(x - \frac{l-l_a}{2}\right) - p_n l \left(x - \frac{l}{2}\right) - p \frac{x^2}{2} - p_p 2(l-l_a)(x-l)$$

Per simmetria, si ha il caso della ripartizione il più sfavorevole sulla campata destra.

a. Diagramma involucro dei momenti flettenti

Si ha un copriferro e una distanza utile :

$$C_{nom} = \max(12.5 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} ; 10 \text{ mm}) + 10 \text{ mm} = 22.5 \text{ mm}$$

$$d = (250 - 22.5 - 12.5/2) = 223.75 \text{ mm}$$

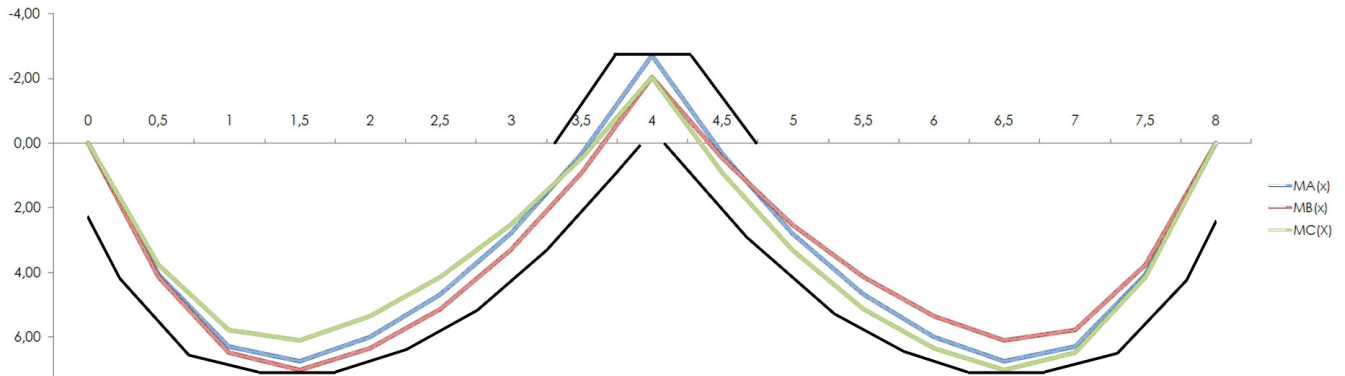


Fig.IV.18 - Traslazione dei momenti in copertura dall'altezza utile d

La soletta alveolare è appoggiata su 10 cm delle travi di bordo. Non c'è nessun cambio di sezione nella soletta.

b. Predimensionamento delle armature

Per il predimensionamento delle armature, si pone nel caso di frattura :

- le armature sostengono le tensioni massimali f_{yd} ,
- il calcestruzzo sostiene le compressioni in modo plastico.

Con $50 < f_{ck} = 53 \text{ N/mm}^2$, si ha :

$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400 = 0.793 \quad (3.20 - [23])$$

$$\eta = 1.0 - (f_{ck} - 50)/200 = 0.985 \quad (3.22 - [23])$$

Si ha rottura solo per un asse neutro inferiore a :

$$\tilde{x} = d \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 66.83 \text{ mm} \quad \text{with } \epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

I limiti minimali definiti dall'Eurocodice :

$$A_{s,req} \geq A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} / f_{yk} b_t d > 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,req} \geq 21.49 \text{ mm}^2 > 11.63 \text{ mm}^2$$

Momento estremo	$ M_{Ed} $ (kN.m)	x (mm)	$A_{s,req}$ (mm ²)	n°	ϕ (mm)	A_s (mm ²)
in campata	7.04	35.82	85.83	1	12.5	122.72
alla continuità	2.72	13.25	31.76	1	7.0	38.48

* Le armature a disposizione per la soletta sono di diametro : 12,5 / 9,3 / 7 / 5 mm

c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione

L'equilibrio alla traslazione, si da l'asse neutro :

$$\lambda \times b \eta f_{cd} - A_s f_{yd} = 0$$

L'equilibrio alla rotazione, si da il momento da non superare:

$$M_{Rd} = \lambda \times b \eta f_{cd} (d - \lambda x/2)$$

$ M_{Ed} $ (kN.m)	A_s (mm ²)	ω_s	x (mm)	z (mm)	M_{Rd} (kN.m)	$M_{Rd} / M_{Ed} $
7.04	122.72	0.18	50.44	203.76	9.78	1.39
2.72	38.48	0.06	15.82	217.48	3.28	1.21

d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio

Il taglio massimale da non superare è :

$$V_{Rd,max} = b \cdot 0.9 \cdot d \cdot 0.5 \cdot f_{yd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) / (1 + \text{ctg}^2 \psi) = 945 \text{ kN} \gg V_{Ed} \text{ (per tutti } x) \quad (4.1.19 [24])$$

Si valuta dapprima la resistenza che il solaio è in grado di fornire in assenza di armatura trasversale :

$$V_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \left[\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d$$

(6.2a -[23])

$$= 4.36 \text{ kN} \quad \text{in campata}$$

$$= 3 \text{ kN} \quad \text{alla continuità}$$

con $\rho_l = A_s / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$),

$$f_{ck} = 53 \text{ N/mm}^2$$

$$b_w = 40 \text{ mm}$$

$$d = 223.75 \text{ mm}$$

è la larghezza minima della sezione,

è l'altezza utile della sezione,

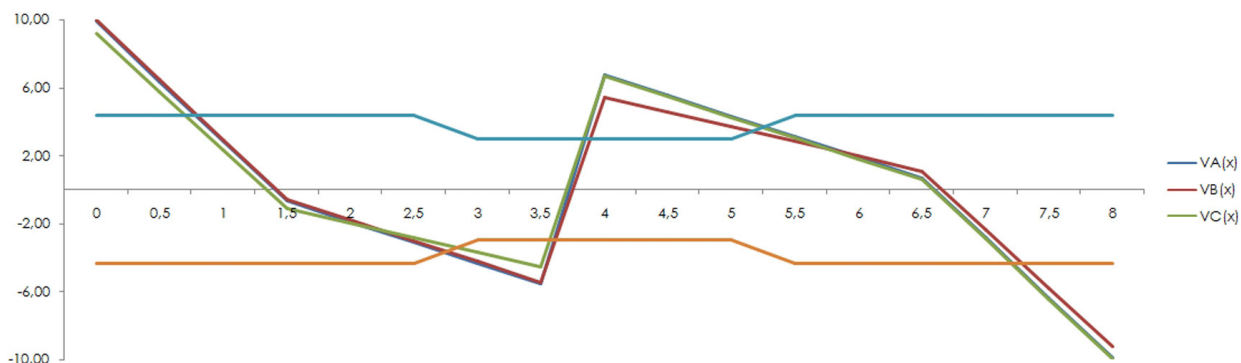


Fig.IV.19 - Tagli in copertura

Rimangono scoperte le estremità su 1 m e la continuità su 2,50 m. Fra le armature a disposizione per questa soletta (12.5 / 9.3 / 7 / 5 mm) si sceglie di aggiungere un ferro piegato di diametro $\varnothing 7$ mm ($A_s = 38.48 \text{ mm}^2$) con $\alpha = 45^\circ$, si assorbirà in tal modo l'azione tagliante relativa ad un concio di lunghezza pari a :

$$\Delta x = 0.9 \cdot d (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) = \approx 604 \text{ mm}$$

Il taglio limite da non superare è allora :

$$V_{Rd,s} = A_s \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{yd} \sin \alpha (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \psi) / \Delta x = 10.6 \text{ kN} > V_{Ed} \text{ (per tutti } x) \quad (6.8 -[23])$$

e. Tracciato delle armature

Si ha, per il valore teorico della lunghezza di ancoraggio:

$$l_{b,rd} = 15.68 \varphi$$

= 110 mm per le barre di diametro φ 7 mm
 = 196 mm per le barre di diametro φ 12.5 mm

Per il valore di progetto della lunghezza di ancoraggio:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rd}$$

con: $\alpha_2 = 0.88$ per le barre di diametro φ 7 mm
 = 1.0 per le barre di diametro φ 12.5 mm

sia: $l_{bd} = 97$ mm per le barre di diametro φ 7 mm
 = 196 mm per le barre di diametro φ 12.5 mm

La lunghezza di ancoraggio non deve essere inferiore a :

$$l_{bd} \geq l_{b,min} = \max (0.3 l_b, 10 \varphi, 10 \text{ mm}), \text{ con } l_b = (\varphi f_{yd}) / (4 f_{bd})$$

≥ 70 mm per le barre di diametro φ 7 mm
 ≥ 125 mm per le barre di diametro φ 12.5 mm

Nei casi di piegatura, si aggiunge come limite:

- piegatura a 90°, il tratto terminale rettilineo non deve essere inferiore a 5 φ ;
- piegatura a 45°, la lunghezza di ancoraggio deve essere almeno pari a 1.3 l_{bd} . Si sceglie allora : 105 mm per φ 7

Si propone il tracciato seguente:

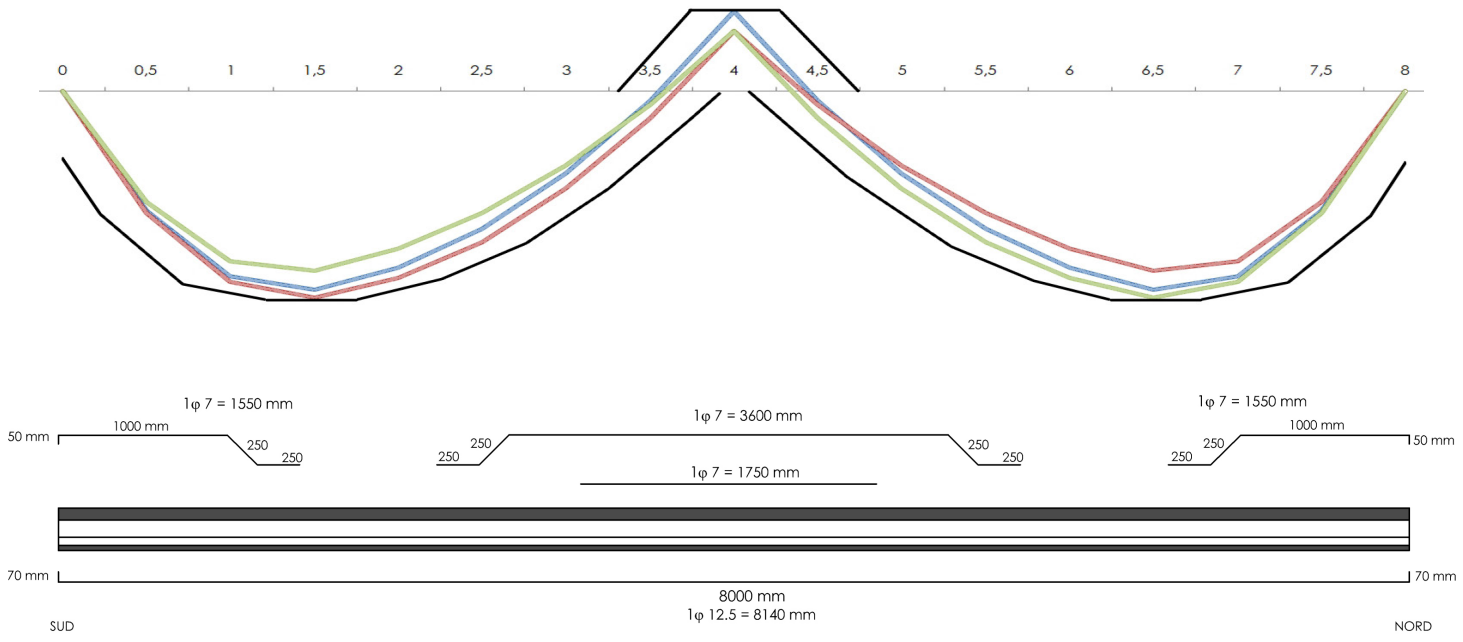


Fig.IV.20 - Tracciato delle armature nella soletta copertura

B. Analisi delle sollecitazioni agli stati limite di esercizio

Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (§ 4.1.2.2.5.) viene prescritto di valutare le tensioni nei materiali sia dalla combinazione caratteristica (rara) sia dalla combinazione quasi permanente delle azioni, da confrontare con valori massimi consentiti, definiti in funzione della combinazione di azioni desiderata. Si procede pertanto al calcolo delle azioni interne nella struttura dovute alle combinazioni di azioni sotto definite ed al calcolo delle tensioni da esse prodotte.

a. Combinazione caratteristica (rara)

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + Q_{k,es} + \psi_{0,n} Q_{k,n}$$

Combinazione di carichi per 0.18 m della trave in calcestruzzo :

$$p = G_{1,cop} = 0.78 \text{ kN/m}$$

$$p_a = G_{1,alb} = 4.50 \text{ kN/m}$$

$$p_p = G_{1,cop} = 0.54 \text{ kN/m}$$

carico di esercizio dominante

$$q_{es} = Q_{es} = 0.36 \text{ kN/m} \quad ; \quad q_n = \psi_{0,n} Q_n = 0.25 \text{ kN/m}$$

carico di neve dominante

$$q_{es} = \psi_{0,es} Q_{es} = 0.11 \text{ kN/m} \quad ; \quad q_n = Q_n = 0.23 \text{ kN/m}$$

Con la stessa procedura che per la soletta dei piani 1° a 4° si deve verificare :

$ M_{Ed} $ (kN.m)	m_c	m'_c	m_s	σ_c (N/mm ²)	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
5.40	0.37	0.43	5.14	2.02	2.31	27.78
2.02	0.38	0.46	5.56	0.77	0.93	11.24
				18.02	3.46	360.00
				$0.6 f_{cd}$	$f_{ctm}/1.2$	$0.8 f_{yd}$

b. Combinazione quasi permanente

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + \psi_{2,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$$

Combinazione di carichi per 0.18 m della trave in calcestruzzo :

$$p = G_{1,cop} = 0.78 \text{ kN/m}$$

$$p_a = G_{1,alb} = 4.50 \text{ kN/m}$$

$$p_p = G_{1,cop} = 0.54 \text{ kN/m}$$

$$q_{es} = \psi_{2,es} Q_{es} = 0.11 \text{ kN/m} \quad ; \quad q_n = \psi_{2,n} Q_n = 0 \text{ kN/m}$$

Con la stessa procedura che per la soletta dei piani 1° a 4° si deve verificare :

$ M_{Ed} $ (kN.m)	m_c	m'_c	m_s	σ_c (N/mm ²)	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
4.81	0.37	0.43	5.14	1.80	2.05	24.74
1.57	0.38	0.46	5.56	0.60	0.72	8.73
				18.02	3.46	313.04
				$0.6 f_{cd}$	$f_{ctm}/1.2$	$0.8 f_{yd}$

c. Combinazione frequente (per la fessurazione)

La combinazione caratteristica delle azioni è :

$$G_1 + \psi_{1,es} Q_{k,es} + \psi_{2,n} Q_{k,n}$$

Combinazione di carichi per 0.18 m della trave in calcestruzzo :

$$p = G_{1,cop} = 0.78 \text{ kN/m}$$

$$p_a = G_{1,alb} = 4.50 \text{ kN/m}$$

$$p_p = G_{1,cop} = 0.54 \text{ kN/m}$$

carico di esercizio dominante

$$q_{es} = \psi_{1,es} Q_{es} = 0.18 \text{ kN/m} \quad ; \quad q_n = \psi_{2n} Q_n = 0 \text{ kN/m}$$

carico di neve dominante

$$q_{es} = \psi_{2,es} Q_{es} = 0.11 \text{ kN/m} \quad ; \quad q_n = \psi_{1n} Q_n = 0.05 \text{ kN/m}$$

Con la stessa procedura che per la soletta dei piani 1° a 4° si deve verificare :

$ M_{Ed} $ (kN.m)	m_c	m'_c	m_s	σ_c (N/mm ²)	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
4.89	0.37	0.43	5.14	1.83	2.09	25.15
1.66	0.38	0.46	5.56	0.63	0.76	9.24
				18.02	3.46	313.04
				$0.6 f_{cd}$	$f_{ctm}/1.2$	$0.8 f_{yd}$

d. Verifica della fessurazione

Visto le tensioni nelle armature, non c'è nessun rischio di fessurazione.

e. Controllo delle deformazioni

$$\lambda = 17.88 \leq K \left(11 + \frac{0.0015 f_{ck}}{\rho} \right) \left(\frac{500 A_s}{f_{yk} A_{s,req}} \right) \ll \lambda_{max}$$

A_s	ρ	$A_{s,req}$	λ_{max}
122.72	0.014	85.83	34.69
38.48	0.004	31.76	51.61

A. Analisi delle sollecitazioni

Si usa un calcestruzzo di classe C45/50 per la struttura a telaio.
Le armature sono in acciaio di classe B450C.

a. Travi di bordo TB2

- Si ha il peso proprio delle travi di dimensione 300 x 200 mm :

Densità del calcestruzzo	d_c	2500	
Altezza della trave	h_{trav}	300	mm
Spessore della trave	b_{trav}	200	mm
Inertia della trave	I_T	$4,50E+08$	mm^2
Peso proprio delle trave	$G_{1,tr}$	1.47	kN/m

- Il peso delle chiusure esterne. Non si prende qui in conto lo svuotamento dovuto alle aperture per prenderne in conto il loro peso.

Peso superficiale delle chiusure esterne	q_{cv}	2.87	kN/m^2
Altezza delle chiusure per piano	h_{alt}	3.00	m
Peso proprio delle chiusure	$G_{2,tr}$	7.74	kN/m

- I carichi dovuti alla soletta :

Per determinare l'area di influenza della soletta sulle travi, si guardano i tagli agli SLU con una ripartizione uniforme dei carichi. Si ha allora :

- per le travi di bordo, una lunghezza di influenza massima di 2 m. Con delle luce di 4 m, le travi di bordo caricano un equivalente di $8 m^2$ di soletta.
- per la trave di continuità, la lunghezza massima di influenza è di 5 m, cioè un'area equivalente di $20 m^2$ di soletta.

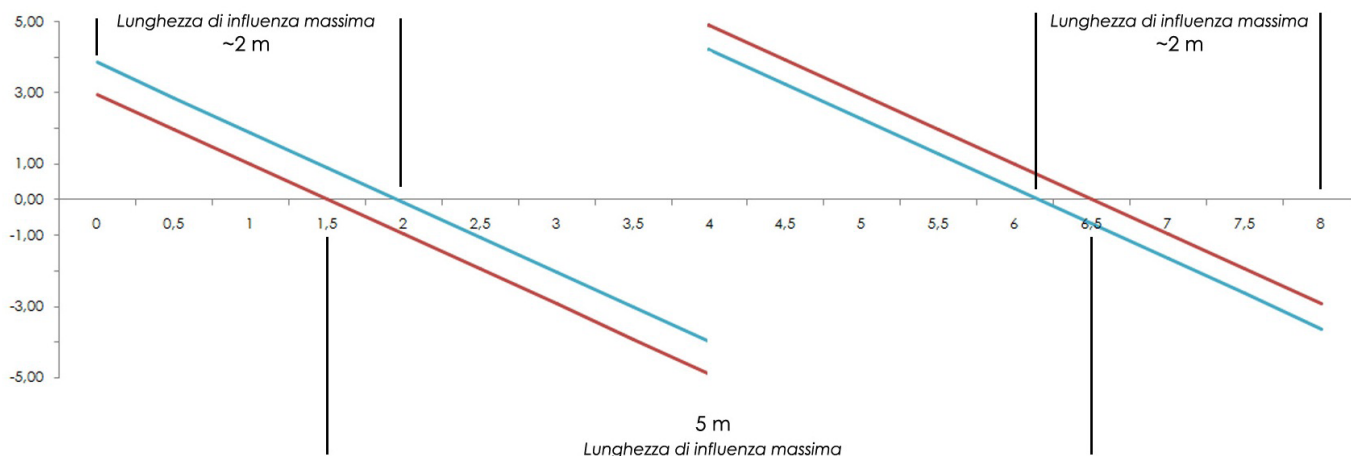


Fig.IV.22 - Lunghezza di influenza dei solai sulle travi

Per la trave di bordo, si ha allora : $g_{1,sol} = 4,69 \text{ kN/m}^2 * \text{Area di influenza} / \text{Luce campata}$
 $= 4,69 \text{ kN/m}^2 * 8 \text{ m}^2 / 4 \text{ m}$
 $= 9,38 \text{ kN/m}$

I carichi dovuti alla soletta sono quindi :

Peso proprio strutturale del solaio	$g_{1,sol}$	9.38	kN/m
Peso proprio degli elementi non strutturali	$g_{2,sol}$	2.40	kN/m
Carico variabile di esercizio	q_{es}	4.00	kN/m

b. Travi interne T1

- Il peso proprio delle travi di dimensione 360 x 250 mm :

Densità del calcestruzzo	d_c	2500	
Altezza della trave	h_{trav}	360	mm
Spessore della trave	b_{trav}	250	mm
Inertia della trave	I_T	$9.72E+08$	mm ²
Peso proprio delle trave	$G_{1,tr}$	2.21	kN/m

- I carichi dovuti alla soletta (area di influenza 20 m²) :

Peso proprio strutturale del solaio	g_{1sol}	23.45	kN/m
Peso proprio degli elementi non strutturali	$g_{2,sol}$	6.00	kN/m
Carico variabile di esercizio	q_{es}	10.00	kN/m

B. Combinazione delle azioni

a. Travi di bordo TB2

Combinazione delle azioni per i piani intermedi

agli SLU :

$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) + \gamma_{G2} (G_{2tr} + g_{2sol}) + \gamma_Q q_{es}$$

agli SLE irreversibile caratteristica :

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + (G_{2tr} + g_{2sol}) + q_{es}$$

agli SLE reversibile frequente:

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + (G_{2tr} + g_{2sol}) + \psi_{1,es} q_{es}$$

agli SLE reversibile quasi permanente:

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + (G_{2tr} + g_{2sol}) + \psi_{2,es} q_{es}$$

Combinazione delle azioni per la copertura

agli SLU :

$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1cop}) + \gamma_Q (q_{es} + q_n)$$

agli SLE irreversibile caratteristica :

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + q_{es} + \psi_{0,n} q_n$$

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{0,es} q_{es} + q_n$$

agli SLE reversibile frequente:

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{1,es} q_{es} + \psi_{2,n} q_n$$

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{2,es} q_{es} + \psi_{1,n} q_n$$

agli SLE reversibile quasi permanente:

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{2,es} (q_{es} + q_n)$$

b. Travi interne TI1

Combinazione delle azioni per i piani intermedi

agli SLU :

$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) + \gamma_{G2} g_{2sol} + \gamma_Q q_{es}$$

agli SLE irreversibile caratteristica :

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + g_{2sol} + q_{es}$$

agli SLE reversibile frequente:

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + g_{2sol} + \psi_{1,es} q_{es}$$

agli SLE reversibile quasi permanente:

$$(G_{1tr} + g_{1sol}) + g_{2sol} + \psi_{2,es} q_{es}$$

Combinazione delle azioni per la copertura

agli SLU :

$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1cop}) + \gamma_Q (q_{es} + q_n)$$

agli SLE irreversibile caratteristica :

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + q_{es} + \psi_{0,n} q_n$$

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{0,es} q_{es} + q_n$$

agli SLE reversibile frequente:

$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{1,es} q_{es} + \psi_{2,n} q_n$$

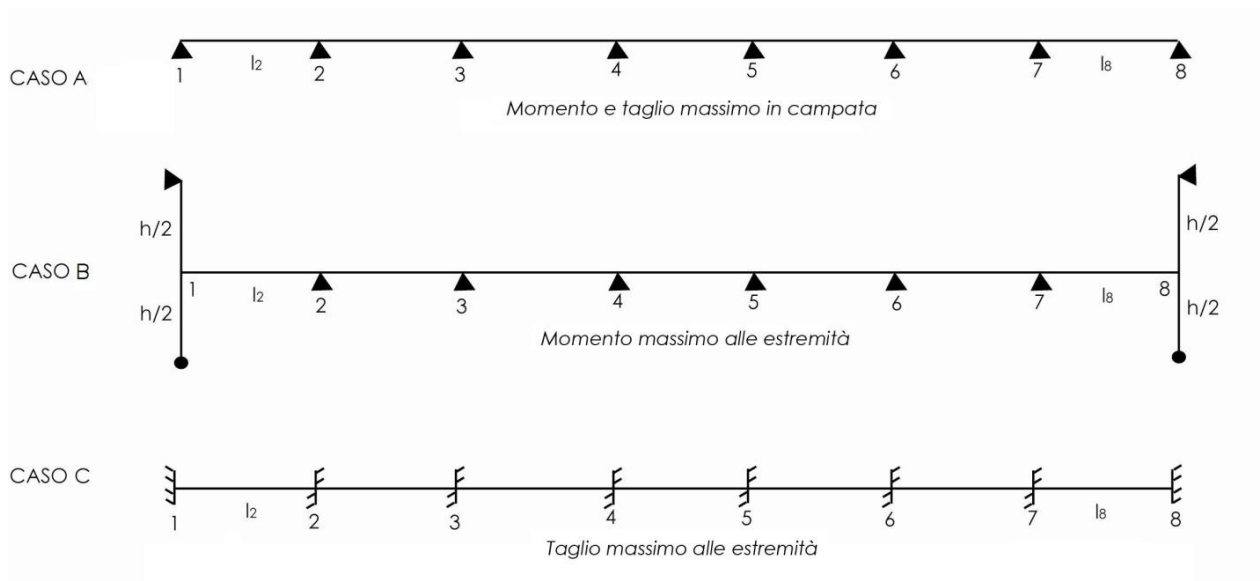
$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{2,es} q_{es} + \psi_{1,n} q_n$$

agli SLE reversibile quasi permanente:

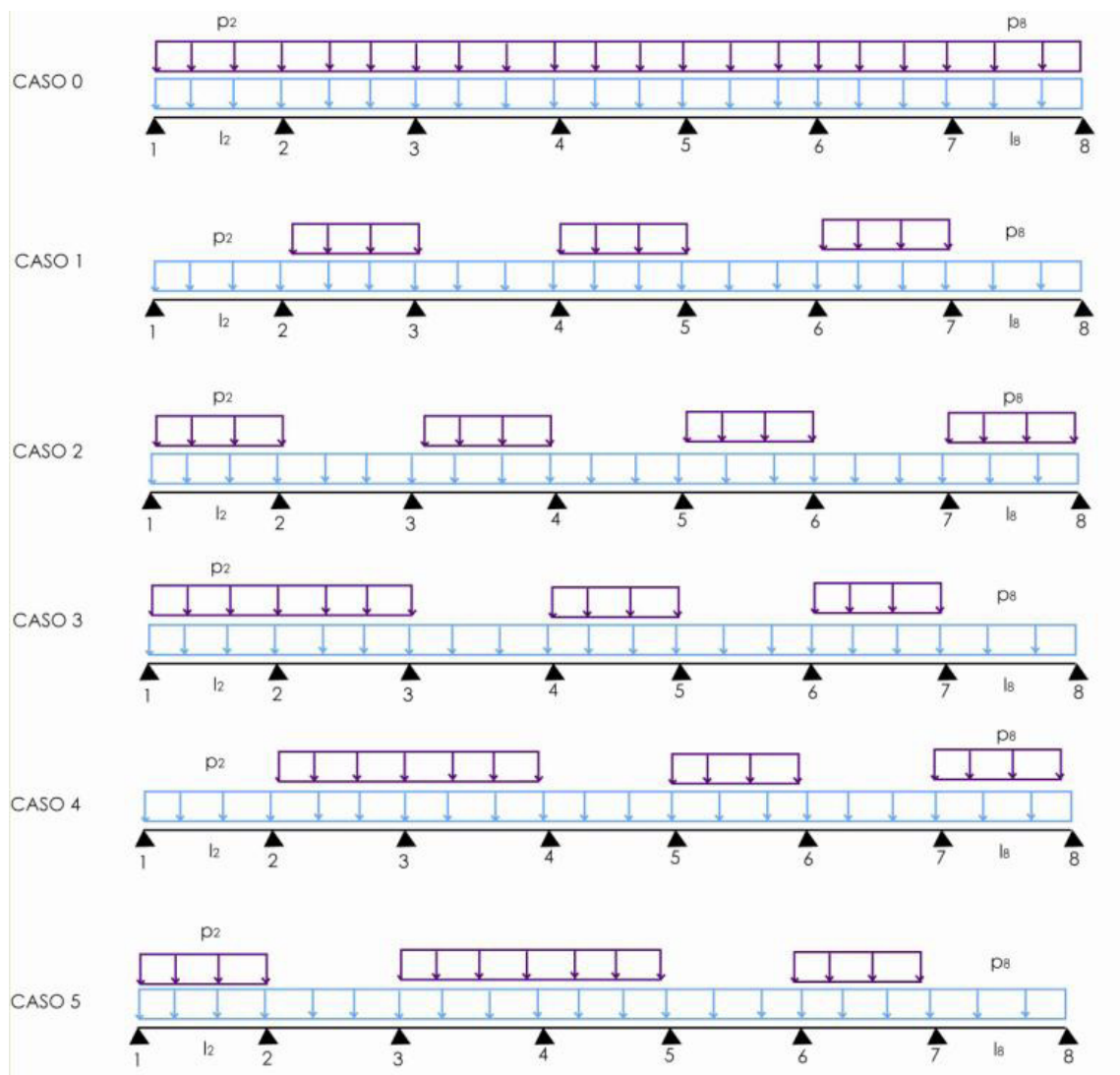
$$(G_{1tr} + g_{1cop}) + \psi_{2,es} (q_{es} + q_n)$$

C. Casi di studio

Consideriamo tre casi di fissazione :



E sei casi di carico (per i casi B e C, si limita al carico 0)



5. TRAVI DI BORDO TB2

A. Combinazione agli stati limiti ultimi

Il solaio è appoggiato su sette campate di luce uguale pari a $l = l_i = 4$ m.
I carichi di ogni campata sono notati p_i con $2 \leq i \leq 8$ (cf. 4.C. Casi di studio)

COMBINAZIONE DI CARICHI A - MOMENTI E TAGLI NELLE CONTINUITA' MASSIMI



$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) = 14.11 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{G2} (G_{2tr} + g_{2sol}) + \gamma_Q q_{es,sol} = 21.21 \text{ kN/m}$$

$$\begin{pmatrix} \frac{(p_2 + p_3)l^3}{24.EI_T} + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_2 + \frac{l}{6EI_T} X_3 \\ \frac{(p_3 + p_4)l^3}{24.EI_T} + \frac{l}{6EI_T} \cdot X_2 + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_3 + \frac{l}{6EI_T} X_4 \\ \frac{(p_4 + p_5)l^3}{24.EI_T} + \frac{l}{6EI_T} \cdot X_3 + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_4 + \frac{l}{6EI_T} X_5 \\ \frac{(p_5 + p_6)l^3}{24.EI_T} + \frac{l}{6EI_T} \cdot X_4 + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_5 + \frac{l}{6EI_T} X_6 \\ \frac{(p_6 + p_7)l^3}{24.EI_T} + \frac{l}{6EI_T} \cdot X_5 + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_6 + \frac{l}{6EI_T} X_7 \\ \frac{(p_7 + p_8)l^3}{24.EI_T} + \frac{l}{6EI_T} X_6 + 2 \cdot \frac{l}{3EI_T} \cdot X_7 \end{pmatrix} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \end{pmatrix} = -l^2 \cdot \begin{pmatrix} \frac{p_2 + p_3}{4} \\ \frac{p_3 + p_4}{4} \\ \frac{p_4 + p_5}{4} \\ \frac{p_5 + p_6}{4} \\ \frac{p_6 + p_7}{4} \\ \frac{p_7 + p_8}{4} \end{pmatrix}$$

Momenti alle articolazione

$$M_1 = 0$$

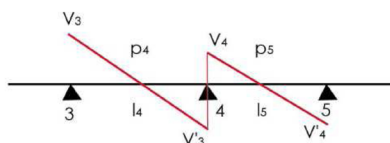
$$M_i = X_i \quad 2 \leq i \leq 7$$

$$M_8 = 0$$

Momenti massimi in campata

$$M_{\max,i} = \frac{X_{i-1} + X_i}{2} + \frac{p_i \cdot l_i^2}{8} \quad 2 \leq i \leq 8$$

Reazioni alle articolazione



$$R_{i-1} = \frac{X_i - X_{i-1}}{l_i} + \frac{p_i \cdot l_i}{2}$$

$$R'_{i-1} = \frac{X_i - X_{i-1}}{l_i} - \frac{p_i \cdot l_i}{2}$$

Si presentano solo i grafi per le prime quattro trave. Il resto dei momenti e tagli si deduce per simmetria.

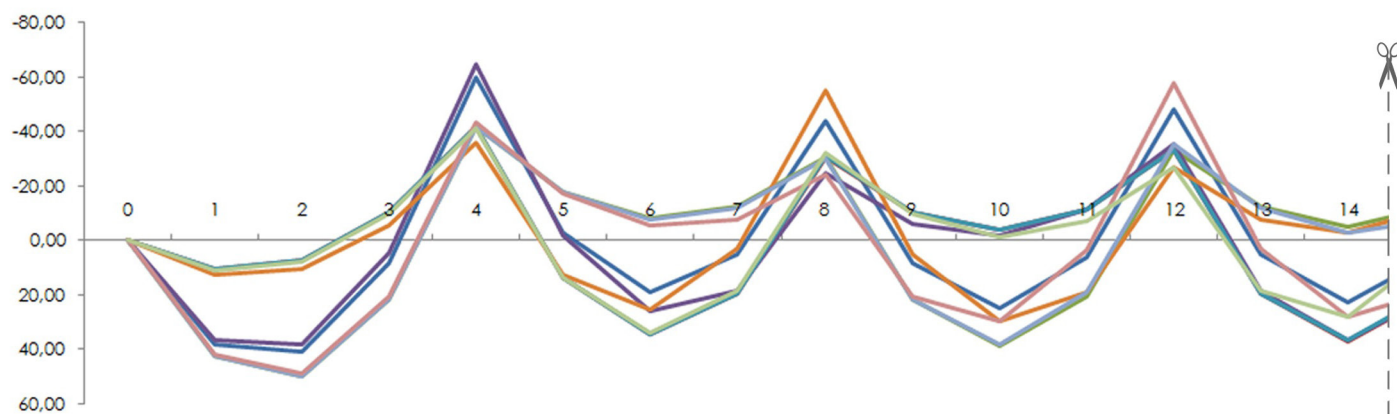


Fig.IV.23 - Momenti delle quattro trave in articolazione

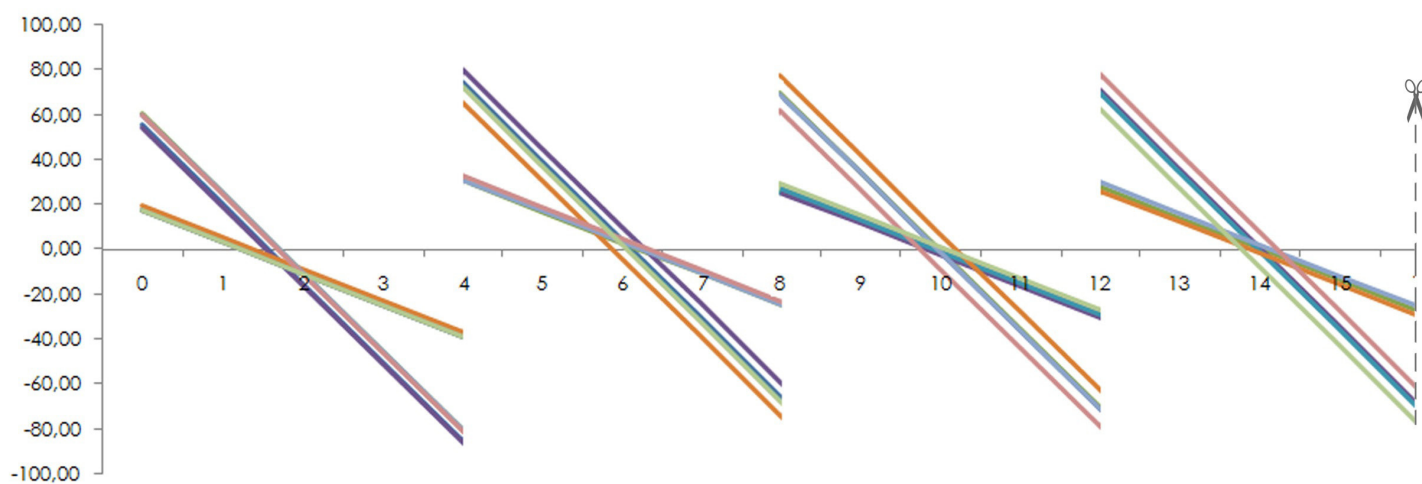


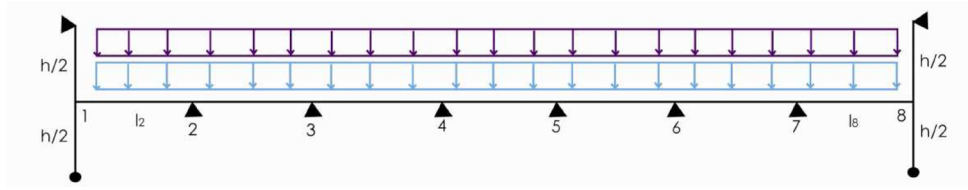
Fig.IV.24 - Tagli delle quattro trave in articolazione

I valori estremi dei tagli e momenti per una trave in continuità su delle articolazione sono :

TRAVE	V_{Ed} (kN) A	TRAVE	M_{Ed} (kN.m) A
1	60.20	1	0
	-86.76	campata	49.75
2	80.63	2	-64.50
	-75.47	campata	34.44
3	77.67	3	-55.00
	-79.09	campata	38.62
4	78.40	4	-57.90
	-78.40	campata	37.22
5	79.09	5	-57.90
	-77.67	campata	38.62
6	75.47	6	-55.00
	-80.63	campata	34.44
7	86.76	7	-64.50
	-60.20	campata	49.75
		8	0

COMBINAZIONE DI CARICHI B - MOMENTI DI ESTREMITA' MASSIMI

La rigidezza dei pilastri creano momenti e tagli minore sulla trave tranne alle estremità dove si recupera i momenti massimi.



$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) + \gamma_{G2} (G_{2tr} + g_{2sol}) + \gamma_Q q_{es,sol} = 35.32 \text{ kN/m}$$

$$\begin{pmatrix} -\frac{p_2 l^2}{12} + \left(\frac{4EI_T}{l} + 2\frac{3EI_P}{2}\right) \phi_1 + \frac{2EI_T}{l} \phi_2 \\ \frac{(p_2 - p_3)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_1 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_2 + \frac{2EI_T}{l} \phi_3 \\ \frac{(p_3 - p_4)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_2 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_3 + \frac{2EI_T}{l} \phi_4 \\ \frac{(p_4 - p_5)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_3 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_4 + \frac{2EI_T}{l} \phi_5 \\ \frac{(p_5 - p_6)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_4 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_5 + \frac{2EI_T}{l} \phi_6 \\ \frac{(p_6 - p_7)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_5 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_6 + \frac{2EI_T}{l} \phi_7 \\ \frac{(p_7 - p_8)l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_6 + 2\frac{4EI_T}{l} \phi_7 + \frac{2EI_T}{l} \phi_8 \\ \frac{p_8 l^2}{12} + \frac{2EI_T}{l} \phi_7 + \left(\frac{4EI_T}{l} + 2\frac{3EI_P}{2}\right) \phi_8 \end{pmatrix} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 2\left(1 + \frac{3I_P l}{I_T}\right) & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2\left(1 + \frac{3I_P l}{I_T}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \\ \phi_7 \\ \phi_8 \end{pmatrix} = -\frac{l}{2EI_T} \begin{pmatrix} -\frac{p_2 l^2}{12} \\ \frac{(p_2 - p_3)l^2}{12} \\ \frac{(p_3 - p_4)l^2}{12} \\ \frac{(p_4 - p_5)l^2}{12} \\ \frac{(p_5 - p_6)l^2}{12} \\ \frac{(p_6 - p_7)l^2}{12} \\ \frac{(p_7 - p_8)l^2}{12} \\ \frac{p_8 l^2}{12} \end{pmatrix}$$

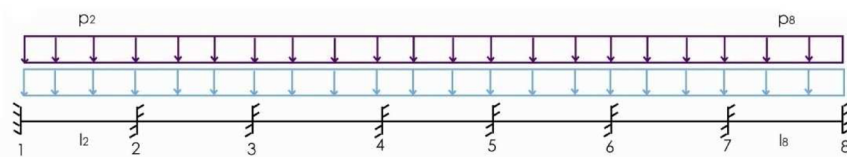
Momenti estremi alle estremità

$$M_1 = \frac{4EI_T}{l} \phi_1 + \frac{2EI_T}{l} \phi_2 - \frac{p_2 l^2}{12} = M_8$$

M₁ = M₈ = -47.09 kN.m

COMBINAZIONE DI CARICHI C - TAGLI DI ESTREMITA' MASSIMI

Le travi sono indipendenti tra loro. I momenti e tagli estremi si ottengono con una ripartizione uniforme e uguale su tutte le campate.



$$\gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) + \gamma_{G2} (G_{2tr} + g_{2sol}) + \gamma_Q q_{es,sol} = 35.32 \text{ kN/m}$$

Reazioni massimi ai incastri

$$V_1 = \frac{pl}{2} = -V_2$$

$$V_1 = -V_2 = 74.07 \text{ kN}$$

a. Altezza utile della trave

La valutazione dell'altezza utile d della sezione, da utilizzare sia per il predimensionamento delle armature sia per il calcolo dell'armatura minima, richiede, come già visto con riferimento al calcolo del solaio, la determinazione dello spessore del copriferro.

Per il copriferro si fa riferimento alle prescrizioni date al punto 4.4.1. dell'Eurocodice

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (4.1 - [23])$$

$$c_{min} = \max (c_{min,b} ; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm}) \quad (4.2 - [23])$$

- per le armature trasversali (staffe)

$c_{min,b}$ copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza : $c_{min,b} = \text{Max } \emptyset = 8 \text{ mm}$

$c_{min,dur}$ copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali (X0;S2) = 10 mm

$\Delta c_{dur,\gamma}$ margine di sicurezza = 0 (valore raccomandato dall'EC2)

$\Delta c_{dur,st}$ riduzione del copriferro minimo quando si utilizza acciaio inossidabile

$\Delta c_{dur,add}$ riduzione del copriferro minimo quando si ricorre a protezione aggiuntiva

$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$ (non essendo previsto l'uso di armature di acciaio inossidabile né la adozione di specifiche misure di protezione)

Δc_{dev} margine di progetto per gli scostamenti. Nell'Eurocode : 10 mm

Allora, si ottiene :

$$c_{nom} = \max (8 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} ; 10 \text{ mm}) + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

- per le armature longitudinali

$$c_{nom} = \max (14 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} ; 10 \text{ mm}) + 10 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

Tenendo presente che per le armature longitudinali il copriferro include anche il diametro delle staffe risulta essere dominante il valore di copriferro calcolato per le staffe (come $c_{nom,trasv} = 20 \text{ mm}$, per le armature longitudinali è $c_{nom,long} = 20 + \emptyset = 28 \text{ mm}$).

Le indicazioni riportate in *Tabella C.4.1.IV [8]* non distinguono fra armature longitudinali e trasversali e prescrivono un copriferro minimo, per condizioni ambientali ordinarie (comprendenti la classe di esposizione X0) e per calcestruzzo di classe C 35/45, nel caso di elementi monodimensionali in strutture con vita nominale pari a 50 anni, un copriferro minimo pari a 25 mm. Adottando tale valore minimo, l'altezza utile della trave risulta :

$$d = h_{tr} - c_{nom} - \phi_{trasv} - \phi_{long}/2 = 246 \text{ mm}$$

Con i momenti estremi ottenuti sotto le combinazioni di carico A (articolazione) e B (pilastro), si spostano i momenti dall'altezza utile d per valutare le sezioni.

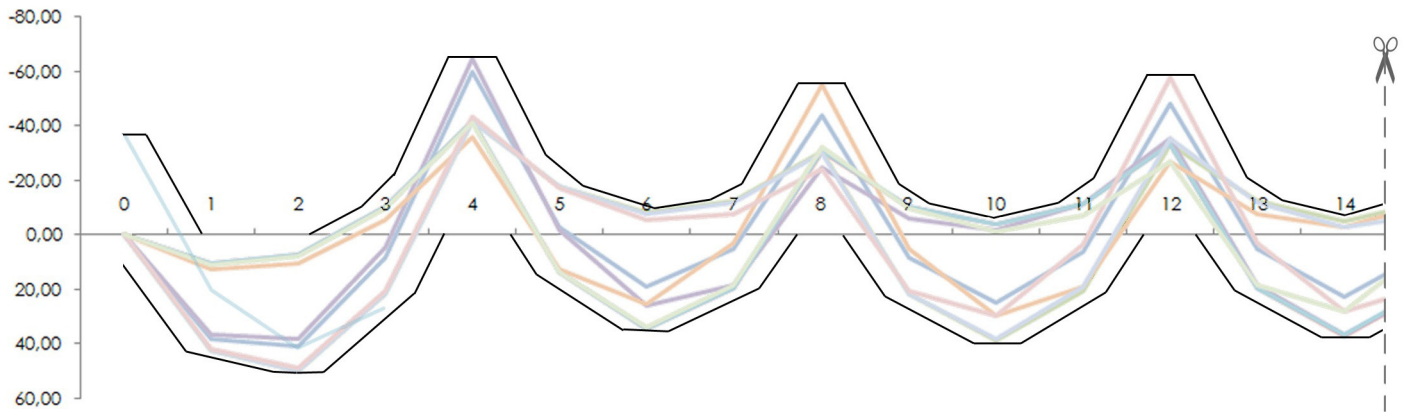


Fig.IV.25 - Spostamento dei momenti nelle trave

Si valutano le sezioni ai punti di momenti estremi :

TRAVE	M_{Ed} (kN.m)
1	-47.09
campata	49.75
2	-64.50
campata	34.44
3	-55.00
campata	38.62
4	-57.90
campata	37.22
5	-57.90
campata	38.62
6	-55.00
campata	34.44
7	-64.50
campata	49.75
8	-47.09

b. Predimensionamento delle armature

Il calcestruzzo delle trave è di una classe inferiore che quello della soletta : C35/45. La distribuzione parabolica di tensione è semplificata con dei coefficienti :

$$\lambda = 0.8$$

$$\eta = 1.0$$

Si ha rottura solo per un asse neutro inferiore a :

$$\tilde{x} = d \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 88.41 \text{ mm} \quad \text{with } \varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

Si scrive l'equazione di equilibrio alla rotazione della sezione con il momento sollecitante di calcolo M_{Ed} , assumendo quale polo il baricentro delle armature tese :

$$\lambda b_{tr} f_{cd,tr} x (d - \lambda/2 \cdot x) = M_{Ed} \quad \text{da l'asse neutro } x$$

Per l'equilibrio alla traslazione, nella ipotesi di armature tesa snervata :

$$\lambda b_{tr} f_{cd,tr} x = A_{s,req} f_{yd} \quad \text{da l'area di armatura requisita}$$

Secondo l'Eurocodice, l'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a :

$$A_{s,req} \geq A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} / f_{yk} b_t d > 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,req} \geq 107 \text{ mm}^2 > 63 \text{ mm}^2$$

Visto la simmetria, si presentano i studi delle quattro prime campate

Con i momenti estremi agli appoggi e in campata :

$ M_{Ed} $ (kN.m)	x (mm)	$A_{s,req}$ (mm ²)	n°	ϕ	n°	ϕ	As (mm ²)
-47.09	51.18	534	4	14			616
49.75	54.38	567	4	14			616
-64.50	72.91	760	5	14			770
34.44	36.48	380	2	14	1	12	421
-55.00	60.81	634	2	14	3	12	647
38.62	41.24	430	3	14			462
-57.90	64.44	672	3	14	2	12	688
37.22	39.64	413	2	14	1	12	421

c. Verifica allo stato limite ultimo per flessione

Si riprende la distribuzione uniforme delle tensioni, con le armature scelte prima. L'equazione di equilibrio alla traslazione, si da l'asse neutro :

$$\lambda b_{tr} f_{cd,tr} x = A_s f_{yd}$$

Con l'equazione di equilibrio alla rotazione, scritta con il polo al baricentro delle armature tese, si ottiene il valore di progetto del momento resistente M_{Rd} da confrontare, con il valore di progetto del momento sollecitante M_{Ed} .

$$\lambda \cdot b_{tr} \cdot f_{cd, tr} \cdot x \cdot \left(d - \frac{\lambda}{2} \cdot x\right) = M_{Rd}$$

M _{Ed} (kN.m)	A _s (mm ²)	ω _s	x (mm)	z (mm)	M _{Rd} (kN.m)	M _{Rd} / M _{Ed}
-47.09	616	0.19	59.06	222.38	53.58	-1.14
49.75	616	0.19	59.06	222.38	53.58	1.08
-64.50	770	0.24	73.82	216.47	65.20	-1.01
34.44	421	0.13	40.37	229.85	37.86	1.10
-55.00	647	0.20	62.07	221.17	56.01	-1.02
38.62	462	0.14	44.29	228.28	41.25	1.07
-57.90	688	0.21	65.99	219.61	59.12	-1.02
37.22	421	0.13	40.37	229.85	37.86	1.02

d. Verifica allo stato limite ultimo per taglio

I tagli massimi ottenuti per tutti i casi sono :

TRAVE	V _{Ed} (kN.m)
1	74.07
	-86.76
2	80.63
	-75.47
3	77.67
	-79.09
4	78.40
	-78.40
5	79.09
	-77.67
6	75.47
	-80.63
7	86.76
	-74.07

I tagli non superano il limite massimale di :

$$V_{Rd, max} = 0.9d b_{tr} 0.5 f_{cd} \frac{1 + ctg \theta}{1 + ctg^2 \theta} = 211 \text{ kN} \gg |V_{Ed}|$$

Inoltre, le Norme Tecniche per le Costruzioni prescrivono che nelle travi si debba prevedere una armatura trasversale costituita da staffe,

- con un passo di armatura non superiore a : $s < 0.8 d$
- con sezione per passo non inferiore a : $A_{st} = \frac{n^\circ A_{sw}}{s} > 1.5 b_{tr} \frac{mm^2}{m}$
- con percentuale di armature a taglio non inferiore a : $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_{tr}} > 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$

Si prendono staffe a due bracci di diametro 8 mm ogni 195 mm :

Passo di armatura	s	195	mm	<	0.8 d	196	mm
Sezione per passo	A _{st}	515	mm ² /m	>	A _{st, min}	100	mm ² /m
Percentuale di armature	ρ _w	0.003		>	ρ _{w, min}	0.0012	
Taglio massimo	V _{Rd, s}	89.33	kN	>>	V _{Ed}	86.76 >>	74.07

I tagli di progetto dalle 74.07 kN alle 86.76 kN rimangono sotto il valore massimo.

e. Tracciato delle armature

Si ha, per il valore teorico della lunghezza di ancoraggio:

$$\begin{aligned}
 l_{b,rd} &= 15.68 \varphi \\
 &= 220 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 14 \text{ mm} \\
 &= 189 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Per il valore di progetto della lunghezza di ancoraggio:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rd}$$

con: $\alpha_2 = 1.0$ per le barre di diametro $\varphi 14$ mm
 $= 0.99$ per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

e: $\alpha_3 = 1 - K \lambda$ per il confinamento dovuto alle armatura trasversale ($0.7 \leq \alpha_3 \leq 1.0$)

K dipende della posizione delle armature trasversali rispetto a quelle longitudinali. Si sceglie 0.05, il più vincolante per semplicità.

$$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{stmin}) / A_s$$

- per le barre di diametro $\varphi 14$ mm

$\Sigma A_{st} = 2 * 100 \text{ mm}^2$ area dell'armatura trasversale in corrispondenza della lunghezza di ancoraggio (staffe 2 $\varphi 8 @ 195$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma A_{stmin} &= 0.25 * A_s \text{ (area di una barra } \varphi 14) \\
 &= 0.25 * 154 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0.95$$

- per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

$\Sigma A_{st} = 1 * 100 \text{ mm}^2$ area dell'armatura trasversale in corrispondenza della lunghezza di ancoraggio (staffe 2 $\varphi 8 @ 195$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma A_{stmin} &= 0.25 * A_s \text{ (area di una barra } \varphi 12) \\
 &= 0.25 * 113 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0.97$$

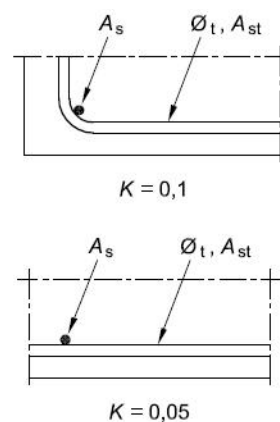
sia: $l_{bd} = 212 \text{ mm}$ per le barre di diametro $\varphi 14$ mm
 $= 181 \text{ mm}$ per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

La lunghezza di ancoraggio non deve essere inferiore a :

$$\begin{aligned}
 l_{bd} &\geq l_{b,min} = \max (0.3 l_b, 10 \varphi, 10 \text{ mm}), \text{ con } l_b = (\varphi f_{yd}) / (4 f_{bd}) \\
 &\geq 140 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 14 \text{ mm} \\
 &\geq 120 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nei casi di piegatura a 90°, si aggiunge come limite il tratto terminale rettilineo non inferiore a 5 φ .

Tav.IV.1 - Tracciato delle armature nelle trave



B. Combinazione agli stati limiti di esercizio

a. Combinazione caratteristica (rara)

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$\begin{aligned} G_1 + G_2 + Q_{k,es} \\ G_1 = 10.85 \text{ kN/m}^2 \\ G_2 + Q_{k,es} = 14.14 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

L'equazione di equilibrio alla traslazione, trascurando il contributo del calcestruzzo teso, si da l'asse neutro:

Equazione di equilibrio alla traslazione: $\sigma_c \cdot \frac{1}{2} \cdot b_{tr} \cdot X - \sigma_s \cdot A_s = 0$ (E)

La linearità delle deformazioni si da :

$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \varepsilon_c \Leftrightarrow \sigma_s = \alpha_E \frac{d-x}{x} \sigma_c$$

Allora : (E) $\Leftrightarrow \frac{1}{2} \cdot b_{tr} \cdot X^2 + \alpha_E A_s X - \alpha_E A_s d = 0$

Attraverso l'equazione di equilibrio alla rotazione si possono calcolare i valori di sforzo nei materiali, da confrontare con i rispettivi valori ammissibili. Consideriamo il momento al baricentro delle armature tese:

Equazione di equilibrio alla rotazione: $M_{Ed} = \sigma_c \cdot \frac{1}{2} \cdot b_{tr} \cdot X \cdot (d - \frac{x}{3}) \Leftrightarrow \sigma_c = m_c \cdot M_{Ed}$

Da proporzionalità si ha : $\sigma_s = m_c \cdot \alpha_E \cdot (d-x)/x \cdot M_{Ed}$

A _s (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	m _s	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
616	111.47	-33.32	0.43	0.73	-14.31	-24.21
616	111.47	34.84	0.43	0.73	14.97	25.31
770	120.41	-45.45	0.40	0.60	-18.33	-27.34
421	97.00	23.73	0.48	1.01	11.45	23.97
647	113.44	-38.46	0.42	0.70	-16.28	-26.78
462	100.42	22.98	0.48	1.01	12.91	27.02
688	115.88	-35.43	0.42	0.66	-14.74	-23.43
421	97.00	25.75	0.48	1.01	12.43	26.01
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

b. Combinazione quasi permanente

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es}$$

$$G_1 = 10.85 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} = 11.34 \text{ kN/m}^2$$

Con lo stesso processo che per la combinazione caratteristica (4.2.1), si ha :

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	m _s	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
616	111.47	-29.59	0.43	0.73	-12.71	-21.50
616	111.47	30.42	0.43	0.73	13.07	22.10
770	120.41	-40.08	0.40	0.60	-16.17	-24.11
421	97.00	20.18	0.48	1.01	9.74	20.38
647	113.44	-33.51	0.42	0.70	-14.19	-23.33
462	100.42	22.98	0.47	0.93	10.77	21.40
688	115.88	-35.43	0.42	0.66	-14.74	-23.43
421	97.00	22.05	0.48	1.01	10.64	22.26
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

c. Combinazione frequente (per la fessurazione)

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$G_1 + G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es}$$

$$G_1 = 10.85 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es} = 12.14 \text{ kN/m}^2$$

Con lo stesso processo che per la combinazione caratteristica (4.2.1), si ha :

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	m _s	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
616	111.47	-30.66	0.43	0.73	-13.17	-22.27
616	111.47	31.69	0.43	0.73	13.61	23.02
770	120.41	-41.61	0.40	0.60	-16.79	-25.04
421	97.00	21.20	0.48	1.01	10.23	21.41
647	113.44	-34.92	0.42	0.70	-14.79	-24.32
462	100.42	24.06	0.47	0.93	11.27	22.40
688	115.88	-36.89	0.42	0.66	-15.35	-24.39
421	97.00	23.11	0.48	1.01	11.15	23.33
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

d. Verifica della fessurazione

In base ai prospetti di fessurazione dall'Eurocodice (7.2-EC2 e 7.3-EC2), la verifica corrisponde a limitare la tensione nella barre a :

- sotto combinazione frequente: $(w_k = 0.4 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 14 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 300 \text{ N/mm}^2$
 $(w_k = 0.4 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 12 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 320 \text{ N/mm}^2$
- sotto combinazione quasi permanente: $(w_k = 0.3 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 14 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 260 \text{ N/mm}^2$
 $(w_k = 0.3 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 12 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 280 \text{ N/mm}^2$

Si deve anche rispettare una spaziatura massima delle barre per evitare le fessurazione, valore limite molto superiore a quello possibile nelle nostre travi di 300 x 200 mm.

e. Controllo delle deformazioni

La verifica di deformabilità può essere omessa, ritenendosi implicitamente soddisfatta la verifica allo SLE di deformazione, per solai e travi con luci non superiori a 10 m, qualora la struttura possieda una snellezza $\lambda = l/d$ (luce/altezza utile della sezione) inferiore ad un valore limite così calcolato :

$$\lambda = 16.26 \ll K. \left(11 + \frac{0.0015 \cdot f_{ck}}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{500 \cdot A_s}{f_{yk} \cdot A_{s,req}} \right)$$

As	ρ	As,req	λ_{\max}
616	0.013	534	27.32
616	0.013	567	25.72
770	0.016	760	22.40
421	0.009	380	30.20
647	0.013	634	23.78
462	0.009	430	28.22
688	0.014	672	23.41
421	0.009	413	27.79

6. TRAVI INTERNE T11

Si segue la stessa procedura che per la trave di bordo cambiando solo i carichi, quindi si limita a presentare solo i risultati.

A. Combinazione agli stati limiti ultimi

I casi di studio sono gli stessi che per la trave di bordo. I carichi sono :

$$Y_{G1} (G_{1tr} + g_{1sol}) = 33.35 \text{ kN/m}$$

$$Y_{G2} (G_{2tr} + g_{2sol}) + Y_Q q_{es,sol} = 35.61 \text{ kN/m}$$

I momenti e tagli massimi ottenuti per tutte le combinazioni di fissazione e di carichi sono :

TRAVE	V _{Ed} (kN) A	TRAVE	M _{Ed} (kN.m) A
1	149.37	1	-91.95
	-169.09	campata	94.70
2	155.79	2	-124.63
	-144.95	campata	62.99
3	149.46	3	-104.32
	-152.39	campata	71.64
4	150.96	4	-110.28
	-150.96	campata	68.76
5	152.39	5	-110.28
	-149.46	campata	71.64
6	144.95	6	-104.32
	-155.79	campata	62.99
7	169.09	7	-124.63
	-149.37	campata	94.70
		8	-91.95

I momenti devono spostarsi nella direzione la più sfavorevole dell'altezza utile :

$$d = h_{tr} - c_{nom} - \varphi_{trasv} - \varphi_{long}/2 = 306 \text{ mm}$$

a. Predimensionamento delle armature

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a :

$$A_{s,req} \geq 167 \text{ mm}^2 > 99 \text{ mm}^2$$

Visto la simmetria, si presentano i studi delle quattro prime campate

Con i momenti estremi agli appoggi e in campata :

M _{Ed} (kN.m)	x (mm)	A _{s,req} (mm ²)	n°	φ	n°	φ	A _s (mm ²)
-91.95	64.33	838	4	14	2	12	842
94.70	66.45	866	4	14	3	12	955
-124.63	90.59	1181	6	14	3	12	1263
62.99	42.75	557	4	14		12	616
-104.32	74.00	965	5	14	2	12	996
71.64	49.05	639	2	14	3	12	647
-110.28	78.77	1027	4	14	4	12	1068
68.76	46.94	612	2	14	3	12	647

b. Verifica allo stato limite ultimo per flessione

M_{Ed} (kN.m)	A_s (mm ²)	ω_s	x (mm)	z (mm)	M_{Rd} (kN.m)	M_{Rd} / M_{Ed}
-91.95	842	0.17	64.60	280.16	92.30	-1.00
94.70	955	0.19	73.28	276.69	103.40	1.09
-124.63	1263	0.25	96.90	267.24	132.07	-1.06
62.99	616	0.12	47.24	287.10	69.18	1.10
-104.32	996	0.20	76.41	275.44	107.34	-1.03
71.64	647	0.13	49.65	286.14	72.46	1.01
-110.28	1068	0.21	81.95	273.22	114.20	-1.04
68.76	647	0.13	49.65	286.14	72.46	1.05

c. Verifica allo stato limite ultimo per taglio

I tagli non superano il limite massimale di :

$$V_{Rd,max} = 0.9d b_{tr} 0.5 f_{cd} \frac{1+\text{ctg } \theta}{1+\text{ctg}^2 \theta} = 351 \text{ kN} \gg |V_{Ed}|$$

Si prendono staffe di diametro 12 mm ogni 240 mm :

Passo di armatura	s	240	mm	<	$0.8 d$	244	mm
Sezione per passo	A_{st}	471	mm ² /m	>	$A_{st,min}$	375	mm ² /m
Percentuale di armature	ρ_w	0.002		>	$\rho_{w,min}$	0.0012	
Taglio massimo	$V_{Rd,s}$	101.57	kN				

Rimangono scoperte le vicinanze delle estremità delle travi. In tali zone si dimensiona l'armatura con :

$$\rho_w \geq \rho_{w,req} = \frac{|V_{Ed}|}{0.9 d b_{tr} f_{yd} \text{ctg } \theta}$$

Mentendo una staffe di diametro 12 mm, si gioca solo sul passo delle staffe :

TRAVE	V_{Ed} (kN)	$\rho_{w,req}$	$\phi 12 @ s$ (mm)	$V_{Rd,s}$ (kN)
1	149.37	0.0028	160	152.35
	-169.09	0.0031	140	174.11
2	155.79	0.0029	150	162.51
	-144.95	0.0027	165	147.73
3	149.46	0.0028	160	152.35
	-152.39	0.0028	155	157.26
4	150.96	0.0028	160	152.35

Per simmetria si determina l'armatura per le altre travi.

d. Tracciato delle armature

Si ha, per il valore teorico della lunghezza di ancoraggio:

$$\begin{aligned}
 l_{b,rd} &= 15.68 \varphi \\
 &= 220 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 14 \text{ mm} \\
 &= 189 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Per il valore di progetto della lunghezza di ancoraggio:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rd}$$

con: $\alpha_2 = 1.0$ per le barre di diametro $\varphi 14$ mm
 $= 0.99$ per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

e: $\alpha_3 = 1 - K \lambda$ per il confinamento dovuto alle armature trasversale ($0.7 \leq \alpha_3 \leq 1.0$)

K dipende della posizione delle armature trasversali rispetto a quelle longitudinali. Si sceglie 0.05, il più vincolante per semplicità.

$$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{stmin}) / A_s$$

• per le barre di diametro $\varphi 14$ mm

$\Sigma A_{st} = 1 * 113 \text{ mm}^2$ area dell'armatura trasversale in corrispondenza della lunghezza di ancoraggio (staffe $\varphi 12 @ 240$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma A_{stmin} &= 0.25 * A_s \text{ (area di una barra } \varphi 14) \\
 &= 0.25 * 154 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0.97$$

• per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

$\Sigma A_{st} = 1 * 113 \text{ mm}^2$ area dell'armatura trasversale in corrispondenza della lunghezza di ancoraggio (staffe $\varphi 12 @ 240$)

$$\begin{aligned}
 \Sigma A_{stmin} &= 0.25 * A_s \text{ (area di una barra } \varphi 12) \\
 &= 0.25 * 113 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = 0.96$$

sia: $l_{bd} = 213 \text{ mm}$ per le barre di diametro $\varphi 14$ mm
 $= 179 \text{ mm}$ per le barre di diametro $\varphi 12$ mm

La lunghezza di ancoraggio non deve essere inferiore a :

$$\begin{aligned}
 l_{bd} &\geq l_{b,min} = \max (0.3 l_b, 10 \varphi, 10 \text{ mm}), \text{ con } l_b = (\varphi f_{yd}) / (4 f_{bd}) \\
 &\geq 140 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 14 \text{ mm} \\
 &\geq 120 \text{ mm per le barre di diametro } \varphi 12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nei casi di piegatura a 90° , si aggiunge come limite il tratto terminale rettilineo non inferiore a 5φ .

Tav.IV.1 Tracciato delle armature nelle trave

B. Combinazione agli stati limiti di esercizio

a. Combinazione caratteristica (rara)

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$G_1 + G_2 + Q_{k,es}$$

$$G_1 = 25.65 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + Q_{k,es} = 23.74 \text{ kN/m}^2$$

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	ms	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
842	132.43	-65.86	0.23	0.40	-15.19	-26.11
955	138.54	67.08	0.22	0.36	14.91	23.83
1263	152.51	-88.87	0.21	0.28	-18.27	-24.85
616	117.89	43.83	0.25	0.52	11.15	22.90
996	140.59	-73.78	0.22	0.34	-16.20	-25.28
647	120.14	50.17	0.25	0.50	12.56	25.08
1068	144.07	-78.14	0.22	0.32	-16.82	-25.21
647	120.14	48.05	0.25	0.50	12.03	24.02
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

b. Combinazione quasi permanente

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$G_1 + G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es}$$

$$G_1 = 25.65 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{2,es} Q_{k,es} = 16.74 \text{ kN/m}^2$$

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	ms	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
616	117.89	-56.53	0.25	0.52	-14.38	-29.54
616	117.89	56.04	0.25	0.52	14.26	29.28
770	128.16	-75.45	0.24	0.43	-17.89	-32.36
421	101.61	34.95	0.29	0.74	10.11	25.71
647	120.14	-61.41	0.25	0.50	-15.37	-30.69
462	105.43	40.70	0.28	0.68	11.40	27.53
688	122.94	-65.33	0.25	0.47	-16.04	-30.93
421	101.61	38.79	0.29	0.74	11.22	28.54
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

c. Combinazione frequente (per la fessurazione)

La combinazione caratteristica delle azioni è :
con :

$$G_1 + G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es}$$

$$G_1 = 25.65 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 + \psi_{1,es} Q_{k,es} = 18.74 \text{ kN/m}^2$$

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	ms	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
616	117.89	-59.20	0.25	0.52	-15.06	-30.93
616	117.89	59.19	0.25	0.52	15.06	30.93
770	128.16	-79.29	0.24	0.43	-18.80	-34.00
421	101.61	37.49	0.29	0.74	10.85	27.58
647	120.14	-64.94	0.25	0.50	-16.26	-32.46
462	105.43	43.41	0.28	0.68	12.16	29.36
688	122.94	-68.99	0.25	0.47	-16.94	-32.67
421	101.61	41.43	0.29	0.74	11.99	30.48
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

d. Verifica della fessurazione

In base ai prospetti di fessurazione dall'Eurocodice (7.2-EC2 e 7.3-EC2), la verifica corrisponde a limitare la tensione nella barre a :

- sotto combinazione frequente: $(w_k = 0.4 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 14 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 300 \text{ N/mm}^2$
 $(w_k = 0.4 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 12 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 320 \text{ N/mm}^2$
- sotto combinazione quasi permanente: $(w_k = 0.3 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 14 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 260 \text{ N/mm}^2$
 $(w_k = 0.3 \text{ mm} ; \varphi_{\max} = 12 \text{ mm}) \quad \sigma_{s,\max} = 280 \text{ N/mm}^2$

Si deve anche rispettare una spaziatura massima delle barre per evitare le fessurazione, valore limite molto superiore a quello possibile nelle nostre travi di 360 x 250 mm.

e. Controllo delle deformazioni

La verifica di deformabilità può essere omessa, ritenendosi implicitamente soddisfatta la verifica allo SLE di deformazione:

$$\lambda = 13.07 \ll K \cdot \left(11 + \frac{0.0015 \cdot f_{ck}}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{500 \cdot A_s}{f_{yk} \cdot A_{s,req}} \right)$$

As	ρ	As,req	λ_{\max}
842	0.011	838	24.85
955	0.012	866	26.13
1263	0.017	1181	23.31
616	0.008	557	30.94
996	0.013	965	24.14
647	0.008	639	27.75
1068	0.014	1027	23.79
647	0.008	612	29.00

7. CALCOLO DELLE TRAVI IN COPERTURA

I tagli agli SLU con una ripartizione uniforme dei carichi, si da :

- Per le travi di bordo, una lunghezza di influenza di 1.5 m, cioè un'area di influenza della soletta di 6 m², con i soli carichi :
 - o dovuti al peso strutturale della soletta : $G_{1,cop} = 4.36 \text{ kN/m}^2$ cioè $p = 6.54 \text{ kN/m}$
 - o dovuti agli alberi : $G_{1,alb} = 25 \text{ kN/m}^2$ cioè $q_{alb} = 37.5 \text{ kN/m}$
 - o dovuti alla neve : $Q_n = 1.25 \text{ kN/m}^2$ cioè $q_n = 1.88 \text{ kN/m}$

- Per le travi interne, una lunghezza di influenza di 5 m, cioè un'area di influenza della soletta di 20 m², con i soli carichi :
 - o dovuti al peso strutturale della soletta : $G_{1,cop} = 4.36 \text{ kN/m}^2$ cioè $p = 21.8 \text{ kN/m}$
 - o dovuti alla pavimentazione : $G_{1,pav} = 3.02 \text{ kN/m}^2$ cioè $q_{pav} = 15.1 \text{ kN/m}$
 - o dovuti al carico di esercizio : $Q_{es} = 2.00 \text{ kN/m}^2$ cioè $q_{es} = 10 \text{ kN/m}^2$
 - o dovuti alla neve : $Q_n = 1.25 \text{ kN/m}^2$ cioè $q_n = 6.25 \text{ kN/m}$

Si usa un calcestruzzo di classe C45/50 per la struttura a telaio.
Le armature sono in acciaio di classe B450C.

A. Travi di bordo TB2

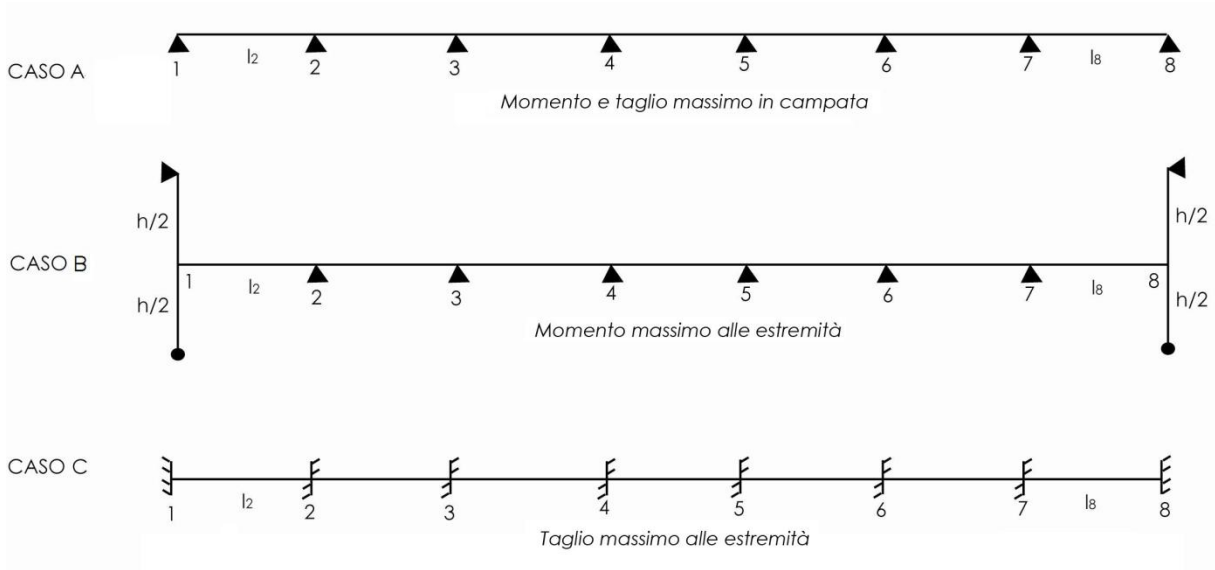
a. Combinazione agli SLU

Non c'è carico di esercizio al bordo, dunque c'è solo un carico variabile, quello della neve.

Si ha :

$$\begin{aligned} \gamma_{G1} (G_{1tr} + g_{1cop} + g_{1alb}) &= 59.16 \text{ kN/m} \\ \gamma_Q q_n &= 2.81 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Il carico variabile è trascurabile rispetto al carico permanente. Si studiano quindi i tre casi di fissazione con una sola ripartizione uniforme dei carichi :



Rispetto allo studio per i piani 1° a 4°, i casi B e C ci danno dei momenti e tagli massimi oltre che alle solo estremità. Si riassume i risultati nella tabella sotto :

TRAVE	V_{Ed} (kN)	TRAVE	M_{Ed} (kN.m) A
1	129.99	1	-82.64
	-150.30	campata	72.77
2	131.74	2	-105.39
	-125.56	campata	41.32
3	124.36	3	-82.64
	-126.69	campata	45.47
4	124.98	4	-85.15
	-124.98	campata	42.06
5	126.69	5	-85.15
	-124.36	campata	45.47
6	125.56	6	-82.64
	-131.74	campata	41.32
7	150.30	7	-105.39
	-129.99	campata	72.77
		8	-82.64

* I tagli in **grasso** sono ottenuti sotto la combinazione a incastro C.

I momenti in **grasso** sono ottenuti sotto la combinazione con i pilastri estremi B.

Per simmetria si presenta solo gli studi delle prime quattro campate.

Momento estremo	$ M_{Ed} $ (kN.m)	x (mm)	$A_{s,req}$ (mm ²)	n°	ϕ	n°	ϕ	A_s (mm ²)
1	-83.51	66.02	792	4	14	2	12	842
campata	73.52	57.39	688	4	14	1	12	729
2	-106.49	86.88	1042	4	14	4	12	1068
campata	41.75	31.40	376	1	14	2	12	380
3	-83.51	66.02	792	4	14	2	12	842
campata	45.93	34.70	416	2	14	1	12	421
4	-86.03	68.24	818	4	14	2	12	842
campata	42.48	31.97	383	2	14	1	12	421

M_{Ed} (kN.m)	A_s (mm ²)	ω_s	x (mm)	z (mm)	M_{Rd} (kN.m)	M_{Rd} / M_{Ed}
-83.51	842	0.19	70.22	267.91	88.27	-1.06
73.52	729	0.16	60.78	271.69	77.49	1.05
-106.49	1068	0.24	89.08	260.37	108.83	-1.02
41.75	380	0.09	31.70	283.32	42.14	1.01
-83.51	842	0.19	70.22	267.91	88.27	-1.06
45.93	421	0.09	35.11	281.96	46.45	1.01
-86.03	842	0.19	70.22	267.91	88.27	-1.03
42.48	421	0.09	35.11	281.96	46.45	1.09

I tagli non superano il limite massimale di :

$$V_{Rd,max} = 0.9d b_{tr} 0.5 f_{cd} \frac{1+\text{ctg } \theta}{1+\text{ctg}^2 \theta} = 312 \text{ kN} \gg |V_{Ed}|$$

Si prendono staffe a due braccia di diametro 8 mm ogni 230 mm:

Passo di armatura	s	230	mm	<	0.8 d	236	mm
Sezione per passo	A _{st}	437	mm ² /m	>	A _{st,min}	345	mm ² /m
Percentuale di armature	ρ _w	0.002		>	ρ _{w,min}	0.0012	
Taglio massimo	V _{Rd,s}	91.13	kN				

Rimangono scoperte le vicinanze delle estremità delle travi. In tali zone si dimensiona l'armatura con:

$$\rho_w \geq \rho_{w,req} = \frac{|V_{Ed}|}{0.9 d b_{tr} f_{yd} \text{ctg } \theta}$$

Mentendo staffe di diametro 8 mm, si gioca solo sul passo :

TRAVE	V _{Ed} (kN)	ρ _{w,req}	2 φ 8 @ s (mm)	V _{Rd,s} (kN)
1	134.61	0.0028	150	139.73
	-151.89	0.0032	135	155.25
2	133.12	0.0028	155	135.22
	-127.76	0.0027	160	131.00
3	125.89	0.0026	165	127.03
	-128.01	0.0027	160	131.00
4	126.29	0.0026	165	127.03

Per simmetria si determina l'armatura per le altre travi.

b. Combinazione agli SLE caratteristica

Non c'è di carico di esercizio al bordo, dunque c'è solo un carico variabile, quello della neve. Si ha :

$$G_{1tr} + g_{1cop} + g_{1alb} = 46.01 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_Q q_n = 1.88 \text{ kN/m}$$

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	ms	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
842	133.56	-63.85	0.26	0.42	-16.53	-26.79
729	126.82	56.10	0.27	0.48	15.16	26.68
1068	145.03	-81.36	0.24	0.34	-19.70	-27.84
380	98.87	31.93	0.33	0.85	10.68	27.12
842	133.56	-63.85	0.26	0.42	-16.53	-26.79
421	102.96	34.94	0.32	0.77	11.28	27.06
842	133.56	-65.65	0.26	0.42	-17.00	-27.54
421	102.96	32.29	0.32	0.77	10.42	25.01
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

c. Verifica alla fessurazione

Come visto per le travi dei piani 1° a 4°, le tensioni nei materiali sotto le combinazioni agli SLE frequente e quasi permanente, sono inferiori alle tensioni sotto combinazione caratteristica. Le tensioni nelle armature non superano i 30 N/mm², un valore che è significativamente superiore ai limiti richiesti per evitare la fessurazione.

d. Controllo delle deformazioni

La verifica di deformabilità può essere omessa, ritenendosi implicitamente soddisfatta la verifica allo SLE di deformazione :

$$\lambda = 13.51 \ll K \cdot \left(11 + \frac{0.0015 \cdot f_{ck}}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{500 \cdot A_s}{f_{yk} \cdot A_{s,req}} \right)$$

As	ρ	As,req	λ _{max}
842	0.012	792	25.28
729	0.011	688	26.48
1068	0.016	1042	22.66
380	0.006	376	33.68
842	0.012	792	25.28
421	0.006	416	32.03
842	0.012	818	24.46
421	0.006	383	34.77

B. TRAVI INTERNE TI1

a. Combinazione agli SLU

Visto il peso del carico permanente rispetto al carico variabile, si considerano le azioni solo sotto la combinazione variabile la più sfavorevole. Nel nostro caso, è con un carico di neve dominante.

Si ha :

carico di esercizio dominante

carico di neve dominante

$$Y_{G1} (G_{1tr} + g_{1cop} + g_{1,pav}) = 50.54 \text{ kN/m}$$

$$Y_Q (q_{es} + \psi_{0,n} q_n) = 19.69 \text{ kN/m}$$

$$Y_Q (\psi_{0,es} q_{es} + q_n) = 19.88 \text{ kN/m}$$

Il carico variabile non è più trascurabile rispetto al carico permanente. Si studiano quindi anche i casi con una ripartizione non equilibrata sulle travi del carico variabile.

Rispetto allo studio per i piani 1° a 4°, i casi B e C ci da dei momenti e tagli massimi oltre che alle sole estremità. Si riassumono i risultati nella tabella sotto, con solo le prime quattro campate :

TRAVE	V _{Ed} (kN)	TRAVE	M _{Ed} (kN.m)
1	151.34	1	-93.88
	-171.70	campata	89.72
2	154.39	2	-123.51
	-143.63	campata	46.94
3	146.36	3	-93.88
	-149.79	campata	62.46
4	148.09	4	-104.71
	-148.09	campata	59.06

Momento estremo	M_{Ed} (kN.m)	x (mm)	$A_{s,req}$ (mm ²)	n°	ϕ	n°	ϕ	A_s (mm ²)
1	-94.29	66.13	862	5	14	1	12	883
campata	90.07	62.88	820	4	14	2	12	842
2	-124.02	90.08	1174	5	14	4	12	1222
campata	47.14	31.51	411	2	14	1	12	421
3	-94.29	66.13	862	5	14	1	12	883
campata	62.68	42.53	554	3	14	1	12	575
4	-105.12	74.64	973	5	14	2	12	996
campata	59.25	40.07	522	3	14	1	12	575

TRAVE	V_{Ed} (kN)	$\rho_{w,req}$	$2 \phi 8 @ s$ (mm)	$V_{Rd,s}$ (kN)
1	153.16	0.0028	140	154.77
	-172.43	-0.0032	125	173.34
2	155.03	0.0029	135	160.50
	-144.56	-0.0027	145	149.43
3	142.21	0.0026	150	144.45
	-150.41	-0.0028	140	154.77
4	148.70	0.0028	145	149.43

I tagli non superano il limite massimale di :

$$V_{Rd,max} = 0.9d b_{tr} 0.5 f_{cd} \frac{1 + \operatorname{ctg} \theta}{1 + \operatorname{ctg}^2 \theta} = 351 \text{ kN} \gg |V_{Ed}|$$

Si prendono staffe a due braccia di diametro 8 mm ogni 240 mm:

Passo di armatura	s	240	mm	<	$0.8 d$	244	mm
Sezione per passo	A_{st}	418	mm ² /m	>	$A_{st,min}$	375	mm ² /m
Percentuale di armature	ρ_w	0.002		>	$\rho_{w,min}$	0.0012	
Taglio massimo	$V_{Rd,s}$	90.28	kN				

Rimangono scoperte le vicinanze delle estremità delle travi. In tali zone si dimensiona l'armatura con

$$\rho_w \geq \rho_{w,req} = \frac{|V_{Ed}|}{0.9 d b_{tr} f_{yd} \operatorname{ctg} \theta}$$

Mentendo staffe di diametro 8 mm, si gioca solo sul passo:

TRAVE	V_{Ed} (kN)	$\rho_{w,req}$	$2 \phi 8 @ s$ (mm)	$V_{Rd,s}$ (kN)
1	153.16	0.0028	140	154.77
	-172.43	-0.0032	125	173.34
2	155.03	0.0029	135	160.50
	-144.56	-0.0027	145	149.43
3	142.21	0.0026	150	144.45
	-150.41	-0.0028	140	154.77
4	148.70	0.0028	145	149.43

Per simmetria si determina l'armatura per le altre travi.

b. Combinazione agli SLE caratteristica

Non c'è carico di esercizio al bordo, dunque c'è solo un carico variabile, quello della neve.

Si ha :

carico di esercizio dominante

carico di neve dominante

$$G_{1tr} + g_{1cop} + g_{1pov} = 39.11 \text{ kN/m}$$

$$Y_Q (q_{es} + \psi_{0,n} q_n) = 19.69 \text{ kN/m}$$

$$Y_Q (\psi_{0,es} q_{es} + q_n) = 19.88 \text{ kN/m}$$

As (mm ²)	x (mm)	M _{Ed} (kN.m)	m _c	m _s	σ _c (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)
883	134.71	-78.64	0.23	0.38	-17.89	-29.92
842	132.43	76.52	0.23	0.40	17.65	30.34
1222	150.84	-104.19	0.21	0.29	-21.61	-29.96
421	101.61	39.32	0.29	0.74	11.38	28.93
883	134.71	-78.64	0.23	0.38	-17.89	-29.92
575	114.84	54.41	0.26	0.56	14.16	30.23
996	140.59	-89.25	0.22	0.34	-19.60	-30.58
575	114.84	51.65	0.26	0.56	13.44	28.69
					27.00	360.00
					0.6 f _{ck}	0.8 f _{yk}

c. Verifica alla fessurazione

Come visto per le travi dei piani 1° a 4°, le tensioni nei materiali sotto le combinazioni agli SLE frequente e quasi permanente, sono inferiori alle tensioni sotto combinazione caratteristica. Le tensioni nelle armature non superano i 31 N/mm², un valore che è significativamente superiore ai limiti richiesti per evitare la fessurazione.

d. Controllo delle deformazioni

La verifica di deformabilità può essere omessa, ritenendosi implicitamente soddisfatta la verifica allo SLE di deformazione :

$$\lambda = 13.07 \ll K \cdot \left(11 + \frac{0.0015 \cdot f_{ck}}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{500 \cdot A_s}{f_{yk} \cdot A_{s,req}} \right)$$

As (mm ²)	ρ	As,req (mm ²)	λ _{max}
883	0.012	862	24.93
842	0.011	820	25.42
1222	0.016	1174	22.89
421	0.006	411	34.45
883	0.012	862	24.93
575	0.008	554	29.94
996	0.013	973	23.93
575	0.008	522	31.78

8. CALCOLO DEI PILASTRI

Si prenderanno in esame un pilastro interno P10 all'edificio, che risulta essere sollecitato prevalentemente in regime di carico assiale, ed un pilastro di bordo P2, per il quale, accanto al carico assiale, il regime delle sollecitazioni prevede anche una non trascurabile componente flettente. Ai fini della determinazione delle sollecitazioni assiali nei pilastri, necessaria per il pre-dimensionamento, anche nel caso di pilastro presso inflesso, si utilizzerà il metodo delle superfici di influenza.

A. Analisi delle sollecitazioni per compressione centrata

a. Pilastri in bordo

Area della superficie di influenza	4 x 2 m	8.00	m ²
Correzione con il coefficiente di iperstaticità 1.4		11.20	m ²
Carichi provenienti dalla copertura			
dovuti al peso della soletta	(4.36 kN/m ²)	48.83	kN
dovuti ai alberi (75% della superficie)	(25 kN/m ²)	210	kN
dovuti alle trave (* coeff di iperstaticità 1.2)	(1.97 kN/m)	18.91	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI IN COPERTURA	G_{1,COP}	277.74	kN
Carico variabile in copertura			
dovuti alla neve	(1.25 kN/m ²)	14	kN
dovuti al carico di esercizio (25% della superficie)	(2.00 kN/m ²)	5.6	kN
TOTALE CARICHI VARIABILI IN COPERTURA	Q_{es,COP}	19.60	kN
Carichi provenienti del solaio			
dovuti al peso della soletta	(4.69 kN/m ²)	52.53	kN
dovuti alle trave (* coeff di iperstaticità 1.2)	(1.47 kN/m)	14.11	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI IN SOLAI	G_{1,SOL}	66.64	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI IN SOLAI	G_{2,SOL}	13.44	kN
TOTALE CARICHI VARIABILE IN SOLAI	Q_{es,SOL}	22.40	kN

Per il solo calcolo dei pilastri, si può applicare al valore nominale del carico variabile, un fattore di riduzione legato all'area della superficie di influenza del pilastro :

$$\alpha_A = 0.5 + 10/A_{\text{influenza}} \leq 1.0$$

Nel nostro caso è superiore a 1. Non c'è dunque riduzione.

Nella combinazione di carichi allo stato limite ultimo si farà per semplicità riferimento ad un unico valore del coefficiente amplificativo delle azioni, γ_F , ottenuto quale media pesata dei valori $\gamma_{G1} = 1.3$ e $\gamma_{G2} = \gamma_{Q1} = 1.5$:

$$\gamma_F = \Sigma \gamma_i G_i / \Sigma G_i \quad \Leftrightarrow \quad \gamma_F = 1.385$$

PILASTRO	Fk (kN)	N = ΣF_{kj} (kN)	NEd = $\gamma_F \cdot N$ (kN)	Ac0 = NEd / fcd (mm ²)	b x h (mm ²)
4°	297.34	297.34	390.47	15312	200 x 250
3°	102.48	399.82	547.74	21480	200 x 250
2°	102.48	502.30	688.13	26985	200 x 250
1°	102.48	604.78	828.52	32491	200 x 250
0°	102.48	707.26	968.91	37997	200 x 250

Le travi calcolate prima avendo uno spessore massimale di 250 mm, scegliamo dei pilastri di 250 x 250 mm, cioè un'area di 50000 mm². Si aggiunge il peso proprio dei pilastri : $0.25 \times 0.25 \times 3 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4.69 \text{ kN}$

I risultati ne sono pertanto così modificati :

PILASTRO	Fk (kN)	N = ΣF_{kj} (kN)	NEd = $\gamma_F \cdot N$ (kN)	Ac0 = NEd / fcd (mm ²)	b x h (mm ²)
4°	301.09	301.09	412.48	16176	200x250
3°	106.23	407.32	558.01	21883	200x250
2°	106.23	513.55	703.54	27590	200x250
1°	106.23	619.78	849.07	33297	200x250
0°	106.23	726.01	994.60	39004	200x250

E' necessario a questo punto dimensionare l'armatura longitudinale. L'EC2, e coerentemente con questo le NTC al § 4.1.6.1.2, prescrivono :

- un minimo tecnologico: almeno una barra per ogni spigolo, di diametro $\phi \geq 12 \text{ mm}$

$$A_{s,\text{min}} n = 452 \text{ mm}^2$$

- un minimo geometrico : $A_{s,\text{min}} \geq 0.003 A_C = 187.5 \text{ mm}^2$
- un minimo statico : $A_{s,\text{min}} \geq 0.10 N_{Ed} / f_{yd} = 187.5 \text{ mm}^2$

PILASTRO	NEd (kN)	Ned/fyd (mm ²)	n° x ϕ	As (mm ²)
4°	412.48	1054	6 x 16	1206
3°	558.01	1426	8 x 16	1608
2°	703.54	1798	10 x 16	2011
1°	849.07	2170	12 x 16	2413
0°	994.60	2542	14 x 16	2815

Si procede alle verifiche sia agli stati limite di esercizio sia agli stati limite ultimi.

Per la verifica agli stati limite ultimi:

$$N_{Rd} = f_{cd} A_c + f_{yd} A_s \geq N_{Ed}$$

PILASTRO	Ac (mm ²)	As (mm ²)	NEd (kN)	NRd (kN)
4°	50000	1206	412.48	1747
3°	50000	1608	558.01	1904
2°	50000	2011	703.54	2062
1°	50000	2413	849.07	2219
0°	50000	2815	994.60	2376

Per gli stati limite di esercizio, scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione per la sezione, si ha:

$$N = \sigma_c A_c + \sigma_s A_s = \sigma_c (A_c + \alpha_E A_s)$$

con

$$\sigma_c \leq 0.6 f_{cd} = 11.89 \text{ N/mm}^2$$

PILASTRO	Ac (mm ²)	As (mm ²)	Fk (kN)	σc (N/mm ²)
4°	50000	1206	301.09	4.42
3°	50000	1608	106.23	1.43
2°	50000	2011	106.23	1.33
1°	50000	2413	106.23	1.23
0°	50000	2815	106.23	1.15

Si completa il discorso con le prescrizioni sull'armatura trasversale. L'EC2, quale recepito dall'Appendice Nazionale, prescrive che il diametro minimo delle staffe sia pari ad almeno 1/4 del diametro delle barre longitudinali, ed in ogni caso non inferiore a 6 mm. Per la spaziatura delle staffe nelle zone correnti, l'Appendice Nazionale (si veda anche § 4.1.6.1.2 NTC) prescrive la più piccola fra le seguenti quantità :

- 12 volte il diametro minimo delle barre longitudinali :
280 mm per φ14 e 240 mm per φ20
- il lato minore della sezione : 250 mm
- 250 mm

Si prescriveranno pertanto staffe φ8 / 240 mm

La possibilità di trascurare gli effetti di secondo ordine deve essere verificata. Per quello si valuta che il carico totale è inferiore a una limita :

$$P_{Ed} \leq 0.31 \frac{n}{n+1.6} \frac{\sum E_{cd} I_c}{L^2}$$

EFFETTO SECONDO ORDINE			
Carico totale verticale sul pilastro	N _{tot}	726.01	kN
Area di influenza del pilastro		11.20	m ²
Area totale al suolo		224	m ²
Carico verticale complessivo	P _{Ed}	14520	kN
Numero di piano dell'edificio	n	5	
Altezza complessiva dell'edificio	L	15.75	m
Modulo elastico del cemento cellulare delle tamponature	E	10200	N/mm ²
Modulo elastico di calcolo = E _{cm} / γ _{CE} = 1.2	E _{cd}	8500	N/mm ²
Momento di inerzia del controvento in cemento cellulare	I _c	52.47	m ⁴
Carico massimale da non superare		422277	kN

Inertie rectangle bâtiment	1195		
Inertie à soustraire du vide avec ep maçonnerie 15 cm	1117	-% aperture	-% struttura
INERTIA CONTROVENTO	78	64	52

b. Pilastri interni

La superficie d'influenza dei pilastri interni è il doppio di quella degli esterni.

Area della superficie di influenza	4 x 4 m	16.00	m ²
Correzione con il coefficiente di iperstaticità 1.4		22.40	m ²
Carichi provenienti dalla copertura			
dovuti al peso della soletta	(7.38 kN/m ²)	165.23	kN
dovuti alle trave (* coeff di iperstaticità 1.2)	(2.21 kN/m)	21.22	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI IN COPERTURA	G_{1,COP}	186.45	kN
Carico variabile in copertura			
dovuti alla neve	(1.25 kN/m ²)	14.00	kN
dovuti al carico di esercizio (25% della superficie)	(2.00 kN/m ²)	22.40	kN
TOTALE CARICHI VARIABILI IN COPERTURA	Q_{es,COP}	36.40	kN
Carichi provenienti del solaio			
dovuti al peso della soletta	(4.69 kN/m ²)	52.53	kN
dovuti alle trave (* coeff di iperstaticità 1.2)	(2.21 kN/m)	21.22	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI IN SOLAI	G_{1,SOL}	73.74	kN
TOTALE CARICHI PERMANENTI IN SOLAI	G_{2,SOL}	13.44	kN
TOTALE CARICHI VARIABILE IN SOLAI	Q_{es,SOL}	22.40	kN

Seguendo il processo precedente, si ha, dopo il peso proprio dei pilastri
Le armature scelte sono :

PILASTRO	F _k (kN)	N = Σ F _{kj} (kN)	N _{Ed} = γ _f . N (kN)	Ac0 = N _{Ed} / f _{cd} (mm ²)	b x h (mm ²)
4°	226.60	226.60	310.43	12174	200 x 250
3°	113.33	339.93	465.69	18262	200 x 250
2°	113.33	453.27	620.95	24351	200 x 250
1°	113.33	566.60	776.21	30440	200 x 250
0°	113.33	679.94	931.47	36528	200 x 250

PILASTRO	N _{Ed} (kN)	N _{ed} /f _{yd} (mm ²)	n° x φ	A _s (mm ²)
4°	310.43	793.32	4 x 16	804
3°	465.69	1190.10	6 x 16	1206
2°	620.95	1586.88	8 x 16	1608
1°	776.21	1983.66	10 x 16	2011
0°	931.47	2380.44	12 x 16	2413

La verifica agli SLU :

PILASTRO	Ac (mm ²)	As (mm ²)	NEd (kN)	NRd (kN)
4°	50000	804	310.43	1590
3°	50000	1206	465.69	1747
2°	50000	1608	620.95	1904
1°	50000	2011	776.21	2062
0°	50000	2413	931.47	2219

E agli SLE:

PILASTRO	Ac (mm ²)	As (mm ²)	Fk (kN)	σ_c (N/mm ²)
4°	50000	804	226.60	3.65
3°	50000	1206	113.33	1.66
2°	50000	1608	113.33	1.53
1°	50000	2011	113.33	1.41
0°	50000	2413	113.33	1.31

Si prescrive un diametro minimo delle staffe pari ad almeno $\frac{1}{4}$ del diametro delle barre longitudinali, ed in ogni caso non inferiore a 6 mm. Per la spaziatura delle staffe nelle zone correnti, l'Appendice Nazionale (si veda anche § 4.1.6.1.2 NTC) prescrive la più piccola fra le seguenti quantità :

- 12 volte il diametro minimo delle barre longitudinali :
192 mm per $\varphi 16$ e 240 mm per $\varphi 20$
- il lato minore della sezione : 250 mm
- 250 mm

Si prescriveranno pertanto staffe $\varphi 8 / 190$ mm.

Di più si verifica velocemente che il secondo ordine può essere trascurato:

EFFETTO SECONDO ORDINE			
Carico totale verticale sul pilastro	N_{tot}	679.94	kN
Area di influenza del pilastro		22.40	m ²
Area totale al suolo		224	m ²
Carico verticale complessivo	P_{Ed}	6799	kN
Numero di piano dell'edificio	n	5	
Altezza complessiva dell'edificio	L	15	m
Modulo elastico del cemento cellulare delle tamponature	E		N/mm ²
Modulo elastico di calcolo = $E_{cm} / \gamma_{CE} = 1.2$	E_{cd}	8500	N/mm ²
Momento di inerzia del controvento in cemento cellulare	I_c	52.47	m ⁴
Carico massimale da non superare		465561	kN

Tav.IV.2 - Tracciato delle armature nei pilastri

B. Ulteriore analisi

Si ferma qui per l'analisi strutturale a causa della complessità dello sviluppo degli analisi a mano. L'uso di un software permetterebbe di verificare e facilitare lo studio rimasto, cioè :

- l'analisi delle sollecitazioni assiali e flettenti sulla base di uno schermo parziale a telaio
- la verifica della struttura in situazioni sismiche.

BIBLIOGRAFIA

Bergamo e sua storia

- [1] Barbero Walter, *Bergamo*, Electa, 1985
- [2] Pederzani Ivana, *Bergamo e il suo territorio*, a cura di Cova Alberto, Mezzanotte Gianni, Rumi Giorgio, Milano, Cariplo, 1997
- [3] Scalvini Maria Luisa, Calza Gian Piero, Finardi Paola, *Bergamo*, Laterza, 1987

Caratteri dell'architettura residenziale bergamasca

- [4] Bertelli Guya, Brambilla Manuela, Invernizzi Matteo, *Bergamo : cent'anni di architettura 1890 – 1990*, Alcon, 1994
- [5] Ravanelli Renato, *Bergamo ieri & oggi*, Bergamo, SESAAB, 1991

L'isolato oggi, elemento urbano e architettonico di costruzione della città

- [6] Bordieri Alessandra Rachele, *Le forme del territorio contemporaneo*, tesi di dottorato, Relatore : Caputo Paolo, Milano, Politecnico di Milano, 2004
- [7] Roca Massimiliano, *Forme del mutamento*, tesi di dottorato, Relatore : Spagnolo Roberto, Milano, Politecnico di Milano, 2004
- [8] Zorza Fabio, *La disposizione a corte nel progetto di residenza - Evoluzione di una tipologia urbana nel '900 in Europa*, tesi di dottorato, Relatore : Fortis Massimo, Milano, Politecnico di Milano, 2004
- [9] Bocquet Denis, De Pieri Filippo, Infusino Silvia, *Le trasformazioni urbane di Berlino e Barcellona*, 2006

Progetto urbanistico

- [10] Palazzo Danilo, *Urban design. Un processo per la progettazione urbana*, Milano, Mondadori Università, 2008

Progetto tecnologico

- [11] UNI EN 12665:2004 Luce e illuminazione - Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici
- [12] UNI EN 12464-1:2004: Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni
- [13] UNI 10840:2000 Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale
- [14] UNI/TS 11300-1:2008 "Prestazione energetica degli edifici -Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale ed estiva".
- [15] UNI/TS 11300-2:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici -Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- [16] UNI/TS 11300-3:2009 "Prestazioni energetiche degli edifici -Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- [17] UNI EN ISO 13789:2008 "Prestazione termica degli edifici -Coefficiente di perdita di

calore per trasmissione e ventilazione –Metodo di calcolo”.

- [18] UNI EN ISO 6946:2008“Componenti ed elementi per edilizia Resistenza termica e trasmittanza termica -Metodo di calcolo”
- [19] UNI EN ISO 10456 “Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto”
- [20] UNI EN ISO 10077-1“Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti. Calcolo della trasmittanza termica -Parte 1: Generalità”
- [21] UNI EN ISO 14683:2008“Ponti termici in edilizia –Coefficienti di trasmissione termica lineica –Metodi semplificati e valori di riferimento.
- [22] UNI EN 13363-1:2008 “Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza solare luminosa –Metodo semplificato.”

Progetto strutturale

- [23] Guida all'uso dell'Eurocodice 2 con riferimento alle Norme Tecniche DM 14.1.2008, a cura di AICAP, con il contributo di Progetto Ulisse. - Roma : Pubblicamento, 2008, 2: Progettazione sismica di edifici in calcestruzzo armato. - Roma : Pubblicamento, c2008
- [24] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo. UNI EN 1992-1-1:2005
- [25] Norme Tecniche DM 14.1.2008

INDICE DELLE FIGURE

CAPITOLO I. DIAGNOSI

13

<i>Fig.I.1 - Topografia di Bergamo anteriore alle costruzioni [3]</i>	13
<i>Fig.I.2 - Ipotesi del tracciato urbano di Bergamo romana con l'orografia delle colli e valli [3]</i>	13
<i>Fig.I.3 - Diverse ipotesi di tracciati urbani per Bergamo romana [3]</i>	14
<i>Fig.I.4 - Bergamo medievale [3]</i>	15
<i>Fig.I.5 - Le cinte murate di Bergamo, L. Angelini [3]</i>	16
<i>Fig.I.6 - Il Sentierone, stampa della metà del XVII [3]</i>	17
<i>Fig.I.7 - Piano di Bergamo con la fiera di pietra [3]</i>	18
<i>Fig.I.8 - Accademia Carrara [3]</i>	18
<i>Fig.I.9 - Pianta di Bergamo in 1896 [3]</i>	19
<i>Fig.I.10 - Piano di risanamento della città alta, L. Angelini [3]</i>	20
<i>Fig.I.11 - Mappa e area di studio, Bergamo, Google Earth</i>	22
<i>Fig.I.12 - Area di studio, Apertura a sud e ovest visibile, Google Earth</i>	23
<i>Fig.I.13 - Tabella - Ripartizione statistica secondo l'età della popolazione di Bergamo</i>	26
<i>Fig.I.14 - Tabella - Ripartizione statistica secondo l'età della popolazione della Provincia di Bergamo</i>	26
<i>Fig.I.15 - Ripresentazione grafica del paragone della repartizione demografica a Bergamo e nella Provincia di Bergamo</i>	26
<i>Fig.I.16 - Estratto del Piano Governatore del Territorio di Bergamo, Ambito Strategico di Porta Sud</i>	27
<i>Fig.I.17 - Estratto del Piano Governatore di Bergamo, Area degli Ex-Magazzini Generali</i>	28
<i>Fig.I.18 - Tabella - Dati climatici mensili, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	30
<i>Fig.I.19 - Evoluzione annuale delle temperature, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	30
<i>Fig.I.20 - Evoluzione annuale dell'umidità, stazione di Orio al Serio</i>	31
<i>Fig.I.21 - Evoluzione annuale delle precipitazioni, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	31
<i>Fig.I.22 - Tabella - Dati mensili sulla direzione del vento principale e le sue caratteristiche, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	32
<i>Fig.I.23 - Tabella - Distribuzione annuale dei venti secondo la loro direzione, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	32
<i>Fig.I.24 - Distribuzione annuale dei venti, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	32
<i>Fig.I.25 - Tabella - Medie mensile di durata del giorno e radiazione solare, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	33
<i>Fig.I.26 - Evoluzione annuale della durata media del giorno, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	33
<i>Fig.I.27 - Evoluzione annuale della durata media del giorno, stazione meteorologica di Orio al Serio</i>	33
<i>Fig.I.28 - Casa Traversi, G. Pizzigoni; e Edificio via S. Bernardino, S. Invernizzi, Google Maps</i>	36
<i>Fig.I.29 - Edificio Viale Vittorio Emanuele, S. Crotti, E. Invernizzi; e le «Terazze Fiorite», G. Gambirasio, G. Zenoni, Google Maps</i>	37
<i>Fig.I.30 - «Il Triangolo», G. Gambirasio, G. Mandelli, C. Poli, P. Traversi, A. Trevian, C. Villa, G. Zenoni, Google Maps</i>	38
<i>Fig.I.31 - Tessuto urbano di Parigi intorno a l'Arc de Triomphe et la Place de l'Etoile, Google Maps</i>	40
<i>Fig.I.32 - Tessuto urbano di Barcellona, Google Maps</i>	41
<i>Fig.I.33 - 8-House, Björke Ingels Group, www.puntafinanews.com</i>	43

CAPITOLO II. PROGETTO ARCHITETTONICO

45

<i>Fig.II.1 - Sezioni esistente e proposta, via Pietro Rovelli, dentro l'area - Sez. 10</i>	46
<i>Fig.II.2 - Sezioni esistente e proposta, via Pietro Rovelli, parte ad est dell'area - Sez 12</i>	46
<i>Fig.II.3 - Sezione proposta, via Silos, parte ad ovest dell'area - Sez 4</i>	46
<i>Fig.II.4 - Sezioni esistente e proposta, via Nicolò Tommaseo - Sez 3</i>	47
<i>Fig.II.5 - Sezioni esistente e proposta, via Alfredo Piatti - Sez 6</i>	47
<i>Fig.II.6 - Sezioni esistente e proposta, via Luigi Pellondi - Sez 9</i>	48
<i>Fig.II.7 - Sezione esistente e proposta, ponte di via Alfredo Piatti - Sez 8</i>	48
<i>Fig.II.8 - Sezioni esistente e proposta, via Mauro Gavazzeni - Sez 5</i>	49
<i>Fig.II.9 - Sezioni esistente e proposta, via Mauro Gavazzeni e Via Silos - Sez 11</i>	49
<i>Fig.II.10 - Tabella - Funzioni da inserire nell'area, dal Piano Governatore del Territorio e le superficie corrispondenti ottimizzate</i>	50
<i>Fig.II.11 - Schema - Funzionamento dell'edificio del Silos</i>	51
<i>Fig.II.12 - Schema funzionale generale</i>	51
<i>Fig.II.13 - Giardino dei Giganti, Lilla, Francia, www.lille-metropole.fr</i>	52
<i>Fig.II.14 - High Line, New York, Stati Uniti, www.inspirez.me</i>	52
<i>Fig.II.15 - Parque Lineal del Rio Manzanares, Madrid, Spagna, www.espomadrid.es</i>	53
<i>Fig.II.16 - Piazza Vecchia, Bergamo, www.ecodibergamo.it</i>	53
<i>Fig.II.17 - Prefettura di Fukuoka, E. Ambasz, www.greenroofs.com; Sede del SIEEEB, M. Cucinella, www.inhabitat.com</i>	54
<i>Fig.II.18 - Edificio residenziale, Mieres, Spagna, Zigzag Arquitectura, www.europaconcorsi.it</i>	56
<i>Fig.II.19 - «Milanofiori 2000», Milano, OBR, P. Brescia, T. Principi, www.europaconcorsi.it</i>	57
<i>Fig.II.20 - «Autrement mieux», Saint-Nazaire, Francia, A. Lacaton, P. Vassal, www.darchitectures.com</i>	57
<i>Fig.II.21 - «Souplesse mathématique», Nantes, Francia, F. Delhay, S. Delhay, L. Zimny, F. Ghesquière, D. Leconte, www.cyberarchi.com</i>	58
<i>Fig.II.22 - «Cité Radieuse», Marseille, Francia, Le Corbusier, ww.blenheimgang.com</i>	58

CAPITOLO III. STRATEGIE TECNOLOGICHE

65

<i>Fig.III.1 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 settembre</i>	83
<i>Fig.III.2 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 dicembre</i>	83
<i>Fig.III.3 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 marzo</i>	84
<i>Fig.III.4 - Evoluzione giornaliera delle ombre - 21 giugno</i>	84
<i>Fig.III.5 - FLDm - Soggiorno e cucina T2</i>	85
<i>Fig.III.6 - Em - Soggiorno e cucina T2</i>	85
<i>Fig.III.7 - FLDm - Soggiorno e cucina T3</i>	86
<i>Fig.III.8 - Em - Soggiorno e cucina T3</i>	86
<i>Fig.III.9 - FLDm - Soggiorno e cucina T4</i>	87
<i>Fig.III.10 - Em - Soggiorno e cucina T4</i>	87
<i>Fig.III.11 - FLDm - Camera T2</i>	88
<i>Fig.III.12 - Em - Camera T2</i>	88
<i>Fig.III.13 - FLDm - Camera matrimoniale T3</i>	89
<i>Fig.III.14 - Em - Camera matrimoniale T3</i>	89
<i>Fig.III.15 - FLDm - Camera T3</i>	90
<i>Fig.III.16 - Em - Camera T3</i>	90

Fig.III.17 - FLDm - Camera matrimoniale T4	91
Fig.III.18 - Em - Camera matrimoniale T4	91
Fig.III.19 - FLDm - Camera 1 T4	92
Fig.III.20 - Em - Camera 1 T4	92
Fig.III.21 - FLDm - Camera 2 T4	93
Fig.III.22 - Em - Camera 2 T4	93
Fig.III.23 - FLDm - Bagno grande	94
Fig.III.24 - Em - Bagno grande	94
Fig.III.25 - FLDm - Bagno piccolo T4	95
Fig.III.26 - Em - Bagno piccolo T4	95
Fig.III.27 - FLDm - Antibagno T4	96
Fig.III.28 - Em - Antibagno T4	96
Fig.III.29 - Base di una targa energetica, www.lavorincasa.it	98
Fig.III.30 - Diagramma psicrometrico - autunno	100
Fig.III.31 - Diagramma psicrometrico - inverno	101
Fig.III.32 - Diagramma psicrometrico - primavera	101
Fig.III.33 - Diagramma psicrometrico - estate	102
Fig.III.34 - Riassunto dati Ecotect	103
Fig.III.35 - Percentuale di ore di discomfort sull'anno, per l'intero edificio	104
Fig.III.36 - Comfort termico - Edificio intero	104
Fig.III.37 - Comfort termico - Soggiorno T2	105
Fig.III.38 - Comfort termico - Soggiorno T3	105
Fig.III.39 - Comfort termico - Soggiorno T4	106
Fig.III.40 - Comfort tecnico - Camera T2	106
Fig.III.41 - Comfort termico - Camera T3	107
Fig.III.42 - Comfort termico - Camera T4	107
Fig.III.43 - Consumo mensile energetico per l'intero edificio, sia in riscaldamento che raffrescamento	108
Fig.III.44 - Consumo energetico - Edificio intero	108
Fig.III.45 - Consumo energetico - Soggiorno T2	109
Fig.III.46 - Consumo energetico - Soggiorno T3	109
Fig.III.47 - Consumo energetico - Soggiorno T4	110
Fig.III.48 - Consumo energetico - Camera T2	110
Fig.III.49 - Consumo energetico - Camera T3	111
Fig.III.50 - Consumo energetico - Camera T4	111
Fig.III.51 - Guadagni e perdite passive - Edificio intero	112

CAPITOLO IV. PROGETTO STRUTTURALE 117

Fig.IV.1 - Ripartizione blocchi di abitazione e torre di circolazione	117
Fig.IV.2 - 3D strutturale del parallelepipedo studiato	117
Fig.IV.3 - Pianta strutturale	118
Fig.IV.4 - Sezione in elevazione	119
Fig.IV.5 - Pianta della struttura del balcone con i tagli termici - www.schock.it	120
Fig.IV.6 - Soletta interpiano	122
Fig.IV.7 - Parete divisorie sulle soletta	123
Fig.IV.8 - Tamponamento esterno	123
Fig.IV.9 - Soletta di copertura verde	124

<i>Fig.IV.10 - Soletta alveolare con getto collaborante</i>	126
<i>Fig.IV.11 - Soletta alveolare in pianta</i>	126
<i>Fig.IV.12 - Modellazione della soletta con i azioni</i>	127
<i>Fig.IV.13 - Dettaglio di fissaggio dei balconi nella soletta</i>	127
<i>Fig.IV.14 - Spostamento dei momenti in soletta dell'altezza utile d</i>	133
<i>Fig.IV.15 - Tagli in soletta e distanza in mm di superamento dei tagli estremi</i>	135
<i>Fig.IV.16 - Tracciato delle armature nella soletta dei piani 1° a 4°</i>	137
<i>Fig.IV.17 - Soletta alveolare della copertura</i>	141
<i>Fig.IV.18 - Traslazione dei momenti in copertura dall'altezza utile d</i>	144
<i>Fig.IV.19 - Tagli in copertura</i>	145
<i>Fig.IV.20 - Tracciato delle armature nella soletta copertura</i>	146
<i>Fig.IV.21 - Pianta strutturale dei piani 1° a 4°</i>	149
<i>Fig.IV.22 - Lunghezza di influenza dei solai sulle travi</i>	150
<i>Fig.IV.23 - Momenti delle quattro trave in articolazione</i>	155
<i>Fig.IV.24 - Tagli delle quattro trave in articolazione</i>	155
<i>Fig.IV.25 - Spostamento dei momenti nelle trave</i>	158

INDICE DELLE TAVOLE

CAPITOLO I. DIAGNOSI 13

<i>Tav.I.1 - Sviluppo storico di Bergamo</i>	20
<i>Tav.I.2 - Sviluppo storico e catastale della zona degli Ex-Magazzini Generali di Bergamo</i>	21
<i>Tav.I.3 - Ambito ecologico e topografia</i>	22
<i>Tav.I.4 - Pieni/Vuoti</i>	23
<i>Tav.I.5 - Funzioni residenziali</i>	24
<i>Tav.I.6 - Funzioni di servizi e produzione</i>	24
<i>Tav.I.7 - Residenze/Servizi</i>	24
<i>Tav.I.8 - Accessibilità scala provinciale e urbana</i>	25
<i>Tav.I.9 - Mobilità Pubblica</i>	25
<i>Tav.I.10 - Mobilità Privata</i>	25
<i>Tav.I.11 - Analisi FDOM</i>	34

CAPITOLO II. PROGETTO ARCHITETTONICO 45

<i>Tav.II.1 - Sviluppo della rete viaria</i>	49
<i>Tav.II.2 - Masterplan</i>	55
<i>Tav.II.3 - Sezioni ambientali</i>	55
<i>Tav.II.4 - Masterplan e ambito strategico di Porta Sud</i>	55
<i>Tav.II.5 - Sezioni della nuova rete viaria - Riassunto 1</i>	55
<i>Tav.II.6 - Sezioni della nuova rete viaria - Riassunto 2</i>	55
<i>Tav.II.7 - Masterplan e nuova rete viaria</i>	55
<i>Tav.II.8 - Mobilità docle ciclopedonale a scala urbana</i>	55
<i>Tav.II.9 - Appartamento Tipo T2</i>	60
<i>Tav.II.10 - Appartamento Tipo T3</i>	60
<i>Tav.II.11 - Appartamento Tipo T4</i>	60
<i>Tav.II.12 - Planivolumetrico</i>	62
<i>Tav.II.13 - Piano Terra</i>	62
<i>Tav.II.14 - Primo Piano</i>	62
<i>Tav.II.15 - Secondo Piano</i>	62
<i>Tav.II.16 - Terzo Piano</i>	62
<i>Tav.II.17 - Quarto Piano</i>	62
<i>Tav.II.18 - Quinto Piano</i>	62
<i>Tav.II.19 - Piano Copertura</i>	62
<i>Tav.II.20 - Prospetto Nord e Sud</i>	62
<i>Tav.II.21 - Prospetto Est e Ovest- Ala secondaria</i>	62
<i>Tav.II.22 - Sezioni architettoniche - Ala secondaria</i>	62

CAPITOLO III. STRATEGIE TECNOLOGICHE 65

<i>Tav.III.1 - Sezione e pianta del muro</i>	78
<i>Tav.III.2 - Sezione copertura</i>	78
<i>Tav.III.3 - Nodo 1.1</i>	78
<i>Tav.III.4 - Nodo 1.2</i>	78
<i>Tav.III.5 - Nodo 2.1</i>	78
<i>Tav.III.6 - Sezione torre e ala</i>	78
<i>Tav.III.7 - Nodi 3.1 e 3.2</i>	78
<i>Tav.III.8 - Nodo 3.3</i>	78
<i>Tav.III.9 - Nodo 3.4</i>	78
<i>Tav.III.10 - Soluzione di bagni senza barriera</i>	80
<i>Tav.III.11 - Verifica antincendio</i>	81

CAPITOLO IV. PROGETTO STRUTTURALE 117

<i>Tav.IV.1 - Tracciato delle armature nelle trave</i>	161
<i>Tav.IV.2 - Tracciato delle armature nei pilastri</i>	180

RINGRAZIAMENTI

Per questo progetto di tesi, ringraziamo con particolare gratitudine in primo luogo il nostro relatore, Prof. Arch. Massimo Tadi che ci ha seguiti durante quest'anno intero, con grande pazienza e disponibilità, trasmettandoci la sua esperienza e la sua passione dell'architettura.

Vogliamo anche ringraziare i professori che ci hanno aiutato per gli aspetti tecnologici e strutturali del nostro progetto, Prof. Ing. Gabriele Maserà, e Prof. Ing. Paolo Martinelli, anche loro con una grande disponibilità e pazienza.

Per l'insieme degli anni passati in Italia, ringraziamo il professore Matteo Ruta, per i suoi consigli preziosi durante le scelte di piani di studio, e Sandro Morselli, sempre disponibile per aiutarci con le procedure amministrative. Ringraziamo anche l'insieme dei professori e assistenti che ci hanno insegnato e seguiti attraverso i diversi progetti e corsi, per gli insegnamenti e per la loro pazienza rispetto alla nostra conoscenza iniziale debole della lingua italiana.

Ringraziamo anche l'Ecole Centrale de Lille e i professori che ci hanno permesso di accedere a questa opportunità e di sfruttarla, Philippe Deshayes e Zoubeir Lafhaj in particolare.

Ringraziamo in fine tutti quelli che ci hanno sostenuto durante questo lavoro finale e durante gli anni a Lecco, le nostre famiglie e gli amici, in Francia e dappertutto il mondo.