

POLITECNICO DI MILANO



Scuola di Ingegneria Edile - Architettura
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

THE FACTORY

Progetto per una nuova sede industriale nel distretto tessile di Carpi

Relatore: Prof. Ing. Gabriele Masera

Tesi di laurea di:

Fulvio Dal Pio Luogo - Mat. 705919

Dario Prete - Mat. 701399

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

INDICE

ABSTRACT - Italiano	VII
ABSTRACT - English	VIII
0. IL BANDO DI CONCORSO	1

PARTE PRIMA: ANALISI E CONOSCENZA DEL TERRITORIO

1. INTRODUZIONE	3
1.1. EVOLUZIONE STORICA DELLA CITTA'	4
1.2. IL DISTRETTO TESSILE DI CARPI	7

PARTE SECONDA: IL PROGETTO ARCHITETTONICO

2. INTRODUZIONE	11
2.1. IL SITO PROGETTUALE: LA NUOVA ZONA INDUSTRIALE DI CARPI	12
2.2. SOPRALLUOGO E RILIEVO FOTOGRAFICO	16
2.3. ANALISI F.D.O.M E DEI VINCOLI PROGETTUALI	19
2.4. INTERAZIONI FUNZIONALI	20
2.5. INTENTO PROGETTUALE	23
2.6. PROGETTI DI RIFERIMENTO	24
2.7. LA LOGISTICA NELLA PROGETTAZIONE DEI MAGAZZINI	30
2.8. LO SVILUPPO IN PIANTA	36
2.8.1. IL MASTERPLAN.....	36
2.8.2. PARCHEGGIO INTERRATO – ZONA DIREZIONE	38
2.8.3. PIANO TERRA – ZONA DIREZIONE	41
2.8.4. PIANO TERRA – ZONA PRODUZIONE	42
2.8.5. PRIMO PIANO – ZONA DIREZIONE	44
2.8.6. PRIMO PIANO – ZONA PRODUZIONE	46
2.8.7. SECONDO PIANO – ZONA DIREZIONE.....	47
2.9. SEZIONI E PROSPETTI.....	49
2.10. USO DEL COLORE IN ARCHITETTURA	55
2.10.1. SIGNIFICATO ED EFFETTI DEI COLORI.....	57
2.10.2. I CONTRASTI CROMATICI.....	58
2.11. ANALISI DEI PACCHETTI TECNOLOGICI.....	59
2.12. LA SCELTA DEI VETRI E DELL'ISOLANTE	60
2.12.1. CRITERI DI SCELTA PER I VETRI.....	60

2.12.2.	LE VARIE TIPOLOGIE DI VETRO.....	60
2.12.3.	I PARAMETRI CHE CARATTERIZZANO UN VETRO	61
2.12.4.	SCELTA DEI VETRI E SCHEDE TECNICHE.....	62
2.12.5.	L'IMPORTANZA DELL'ISOLAMENTO NELLA BIOEDILIZIA.....	64
2.12.6.	LE MACROCATEGORIE DI ISOLANTI	64
2.12.7.	SCELTA DEL TIPO DI ISOLANTE	64
2.12.8.	LA CANNA PALUSTRE COME COIBENTAZIONE.....	66
2.13.	L'EFFICIENZA ENERGETICA DI UNA STRATIGRAFIA.....	68
2.13.1.	IL FLUSSO TERMICO	68
2.13.2.	LA TRASMITTANZA.....	69
2.13.3.	ALTRI PARAMETRI SECONDO LA NORMA UNI EN ISO 13786.....	70
2.13.4.	VALORI MINIMI DI TRASMITTANZA SECONDO IL D.L. 26/01/1.....	76
2.14.	LA VERIFICA A CONDENSAZIONE: IL METODO DI GLASER.....	76
2.15.	ANALISI DEI NODI	92
2.16.	IL BENESSERE ACUSTICO IN EDILIZIA	93
2.16.1.	LA PROPAGAZIONE DEL RUMORE NEGLI EDIFICI.....	93
2.16.2.	LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	95
2.16.3.	MODELLI DI CALCOLO.....	97
2.16.4.	IL TEMPO DI RIVERBERAZIONE.....	103
2.16.5.	VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA.....	104
2.16.6.	CONCLUSIONI	105
2.17.	L'ILLUMINAZIONE NATURALE DEGLI AMBIENTI.....	111
2.17.1.	LE COMPONENTI DELLA LUCE.....	111
2.17.2.	ASPETTI FISILOGICI E PSICOLOGICI DELLA LUCE NATURALE	112
2.17.3.	LUCE NATURALE E RISPARMIO ENERGETICO	112
2.17.4.	VALORI NORMATIVI PER LA VERIFICA DEGLI AMBIENTI.....	113
2.17.5.	DIMENSIONAMENTO DELL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	116
2.17.6.	FATTORE DI LUCE DIURNA.....	119
2.18.	ACCESSIBILITA' DEI LOCALI	121
2.18.1.	IL QUADRO NORMATIVO.....	121
2.18.2.	CONCLUSIONI	124
2.19.	PREVENZIONE ANTINCENDIO:	125
2.19.1.	LUNGHEZZA DEI PERCORSI DI FUGA.....	125
2.19.2.	NUMERO E DIMENSIONE DELLE USCITE DI SICUREZZA	126
2.19.3.	NUMERO E LARGHEZZA DELLE SCALE.....	127

PARTE TERZA: STRATEGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO

3.	INTRODUZIONE.....	128
3.1.	L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	129
3.1.2.	IL FUNZIONAMENTO DEL PANNELLO FOTOVOLTAICO.....	129
3.1.3.	IL PROGETTO IMPIANTISTICO.....	132
3.1.4.	SCELTA DEL TIPO DI PANNELLO.....	132
3.1.5.	CALCOLO DELLA PRODUCIBILITA'.....	135
3.1.6.	IL QUADRO NORMATIVO.....	138
3.1.7.	IL QUADRO ECONOMICO.....	139
3.1.8.	CONCLUSIONI.....	144
3.2.	L'IMPIANTO SOLARE TERMICO.....	145
3.2.2.	IL FUNZIONAMENTO DEL PANNELLO SOLARE.....	145
3.2.3.	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO.....	146
3.3.	STRATEGIE PER UN USO COSCIENTE DELL'ACQUA POTABILE.....	148
3.3.1.	CALCOLO DEI CONSUMI.....	148
3.3.2.	STRATEGIE DI CONTENIMENTO DEGLI SPRECHI.....	150
3.3.3.	IL SISTEMA DI RECUPERO DELL'ACQUA PIOVANA.....	151
3.3.4.	IL SISTEMA DI RICICLO DELLE ACQUE GRIGIE.....	153
3.3.5.	FABBISOGNO IDRICO DEI GIARDINI.....	153
3.3.6.	ACQUA GRIGIA RECUPERATA.....	153
3.3.7.	RIEPILOGO DEI RISULTATI OTTENUTI.....	154

PARTE QUARTA: BILANCIO ENERGETICO - RELAZIONE IMPIANTISTICA - STUDIO DELLE APERTURE IN FACCIATA

4.	INTRODUZIONE.....	155
4.1.	IL BILANCIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO.....	155
4.1.1.	PROCEDURA DI CALCOLO.....	156
4.1.2.	CALORE DISPERSO ATTRAVERSO LE CHIUSURE $Q_{H,tr}$	156
4.1.3.	CALORE DISPERSO PER VENTILAZIONE $Q_{H,ve}$	160
4.1.4.	GUADAGNI TERMICI INTERNI Q_{int}	160
4.1.5.	APPORTI SOLARI Q_{sol}	162
4.1.6.	FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI TERMICI $\eta_{H,gn}$	166
4.1.7.	INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICO EPI	168
4.1.8.	COMFORT TERMICO E PERIODO DI RAFFRESCAMENTO ESTIVO.....	169
4.1.9.	FATTORE DI UTILIZZAZIONE DELLE DISPERSIONI TERMICHE $\eta_{c,ls}$	170

4.1.10.	INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICO EPe	171
4.1.11.	FABBISOGNO ANNUALE DI ACQUA CALDA SANITARIA (EPacs)	173
4.1.12.	DETERMINAZIONE DELLA CLASSE ENERGETICA.....	174
4.2.	TIPOLOGIA DI IMPIANTO ADOTTATA.....	176
4.2.1.	PROCEDIMENTO DI CALCOLO	176
4.2.2.	PICCO DEL FABBISOGNO TERMICO IN FASE INVERNALE	177
4.2.3.	PICCO DEL FABBISOGNO FRIGORIFERO IN FASE ESTIVA	178
4.2.4.	DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE DI CLIMATIZZAZIONE	184
4.2.5.	DIMENSIONAMENTO CONDOTTE DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA.....	202
4.3.	IL DIMENSIONAMENTO DELLE APERTURE IN FACCIATA: ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA.....	209
4.3.1.	ANALISI DEI CONSUMI ANNUI	211
4.3.2.	DIMENSIONAMENTO IMPIANTO E DETERMINAZIONE DEL PREZZO..	212
4.3.3.	CONFRONTO EDIFICIO INTERAMENTE VETRATO O OPACO	212
4.3.4.	CONFRONTO ANDAMENTO DEI COSTI STORICI.....	217
4.3.5.	VERIFICA DELLE SCELTE PROGETTUALI	219
4.3.6.	ANALISI DEI COSTI PER L'ILLUMINAZIONE.....	221
4.3.7.	BILANCIO DEI COSTI ED AREA VETRATA IDEALE.....	225
4.3.8.	SCOMPOSIZIONE DELLA CURVA DEI COSTI GLOBALI.....	225

PARTE QUINTA: ANALISI STRUTTURALE

5.	INTRODUZIONE	227
5.1.	RIFERIMENTI NORMATIVI PER LA PROGETTAZIONE.....	228
5.2.	IL CORPO DIREZIONALE.....	228
5.3.	IL CORPO PRODUTTIVO.....	228
5.4.	SCHEMA PROGETTUALE	229
5.5.	ANALISI DEI CARICHI	229
5.5.1.	CARICHI VERTICALI DELLE STRATIGRAFIE	230
5.5.2.	AZIONI DEL VENTO	235
5.5.3.	AZIONI DELLA NEVE	237
5.6.	PROGETTO DEI SOLAI	238
5.7.	PROGETTO DELLA STRUTTURA IN ACCIAIO	241
5.7.1.	TRAVI SECONDARIE PRIMO PIANO DIREZIONE.....	241
5.7.2.	TRAVI PRINCIPALI PRIMO PIANO DIREZIONE	264
5.7.3.	TRAVI SECONDARIE PRIMO PIANO MAGAZZINO	268

5.7.4.	TRAVI PRINCIPALI PRIMO PIANO MAGAZZINO.....	269
5.7.5.	UNIONI BULLONATE.....	271
5.7.6.	UNIONI SALDATE	273
5.8.	PROGETTO DELLA STRUTTURA IN LEGNO	276
5.8.1.	INTRODUZIONE.....	276
5.8.2.	TRAVI PRINCIPALI SECONDO PIANO DIREZIONE.....	277
5.8.3.	TRAVI SECONDARIE COPERTURA MAGAZZINO	287
5.8.4.	TRAVI PRINCIPALI COPERTURA MAGAZZINO	289
5.8.5.	TRAVE A SBALZO PER LA COPERTURA DEL MAGAZZINO	289
5.8.6.	TRAVI SECONDARIE COPERTURA DIREZIONE	293
5.8.7.	TRAVI PRINCIPALI COPERTURA DIREZIONE.....	293
5.8.8.	SISTEMA DI OSCURAMENTO IN LEGNO.....	293
5.8.9.	UNIONI CON STAFFA A SCOMPARSA	298
5.9.	DIMENSIONAMENTO DEI PILASTRI	305
5.10.	PROGETTO DEI CONTROVENTI.....	314
5.10.1.	ANALISI SISMICA.....	314
5.10.2.	EFFETTI DEL MARTELLAMENTO SISMICO.....	337
5.10.3.	DIMENSIONAMENTO DEI SETTI	337
5.11.	PLINTO DI FONDAZIONE.....	342

PARTE SESTA: ANALISI DEI COSTI

6.	INTRODUZIONE.....	358
6.1.	RIEPILOGO DEI RISULTATI DEL COMPUTO METRICO	359
6.2.	CONFRONTO PARAMETRICO CON EDIFICI SIMILI.....	362

PARTE SETTIMA: LA CERTIFICAZIONE LEED

7.	INTRODUZIONE.....	364
7.1.	CARATTERISTICHE DELLA CERTIFICAZIONE LEED	365
7.2.	IL SISTEMA DI ATTRIBUZIONE DEI CREDITI LEED.....	365
7.3.	QUANDO USARE LEED	366
7.4.	LA CERTIFICAZIONE	367
7.4.1.	SEZIONE 1: SOSTENIBILITA' DEL SITO	367
7.4.2.	SEZIONE 2: GESTIONE DELLE ACQUE.....	376
7.4.3.	SEZIONE 3: ENERGIA E ATMOSFERA.....	379
7.4.4.	SEZIONE 4: MATERIALI E RISORSE	385

7.4.5.	SEZIONE 5: QUALITA' AMBIENTALE INTERNA	390
7.4.6.	SEZIONE 6: INNOVAZIONE NELLA PROGETTAZIONE.....	400
7.4.7.	SEZIONE 7: PRIORITA' REGIONALE.....	401
7.4.8.	TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI	402
	BIBLIOGRAFIA	406
	INDICE DELLE FIGURE.....	411
	INDICE DELLE TAVOLE.....	414
	RINGRAZIAMENTI	416

ABSTRACT - Italiano

La tesi tratta la progettazione di un nuovo polo direttivo per un'azienda produttrice di capi d'abbigliamento. La sua collocazione è Carpi, città dell'Emilia Romagna divenuta famosa in Europa per le sue produzioni nel campo della moda italiana ed internazionale.

Quello che caratterizza maggiormente il progetto, oltre alla grande varietà di funzioni che dovranno essere implementate al suo interno, è l'approccio energetico ed economico che viene affrontato con particolare cura. Lo scopo finale è la creazione di un quartier generale che sappia coniugare attrattiva e funzionalità architettonica, necessarie ad arricchire l'immagine aziendale verso i clienti e la città, ad un'attenta gestione delle risorse energetiche necessarie al funzionamento dello stesso. Trattandosi di architettura industriale è importante rispondere alle esigenze economiche di un'impresa, che tende ad impegnare le sue risorse in modo da trarre il massimo profitto dall'investimento.

All'interno dello stabile sono presenti spazi commerciali, zone eventi e ampie aree comuni, che devono essere in grado di integrarsi con le attività lavorative svolte negli uffici e nel magazzino. Le analisi eseguite per garantire il massimo comfort nei vari ambienti sono di tipo acustico, illuminotecnico e termico. Bisogna porre particolare attenzione anche alla compatibilità tra i vari spazi per sceglierne la collocazione più adatta.

Dal punto di vista architettonico è molto importante il tema della vista in velocità, data la vicinanza all'autostrada. L'azienda deve essere in grado di attirare l'attenzione su di sé sfruttando i pochi secondi a disposizione delle auto di passaggio, mostrando il proprio logo e rendendosi immediatamente riconoscibile, in modo da creare un nuovo punto di riferimento per la città. Le strategie utilizzate per questo scopo comprendono l'uso di forme non convenzionali per arricchire la facciata, oltre a precise scelte cromatiche.

L'attenzione verso l'impatto ambientale viene sottolineata grazie al largo uso di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili e per il contenimento degli sprechi. Anche il progetto impiantistico risente fortemente di queste studi. A testimonianza dell'efficacia di queste scelte viene intrapreso il percorso di certificazione LEED, che serve come parametro di riferimento oggettivo per la valutazione del nostro edificio.

Si conclude con l'analisi economica, per dimostrare che è possibile progettare edifici realmente funzionali e ottimizzati pur restando entro limiti di costo che non differiscono eccessivamente rispetto ai valori standard.

ABSTRACT - English

This thesis illustrates the project of new headquarters for a fashion company. The location is Carpi, a town that became famous all over Europe for its production in the field of Italian and international fashion.

What most characterizes this project, besides the wide variety of functions that must be collocated inside the building, is the approach to the energetic and economic aspects, which is faced with particular care. The final aim is the creation of a new factory that combines a careful management of energy resources with beauty and architectural features, which are necessary to enhance the image of the company from the viewpoint of the customers and the town. Since we are facing the theme of industrial architecture, it is important to match the economic needs of a company, which commits its resources to gain maximum benefit from the investment.

Inside the building there are commercial spaces, event zones and wide common areas, which might be able to relate to the working activities in the offices and in the warehouse. We performed acoustic, lighting and heating analyses to ensure maximum comfort in the various environments. We also paid particular attention to the compatibility between different spaces to choose the most suitable location for each one.

From the architectural point of view is very important the theme of sight in speed, given the proximity to the highway. The building must be able to capture the attention of the drivers, by exploiting the few seconds available to the passing cars, showing the company's logo and becoming instantly recognizable, in order to create a new landmark for the town. The strategies used for this purpose include the use of unconventional shapes to enrich the facade, in addition to the precise choice of colors.

The focus on the environmental impact is underlined by the wide use of technologies for producing energy from renewable sources and for reducing waste. Also the heating and the air conditioning systems have been strongly influenced by these studies. In order to prove the effectiveness of these choices, we performed the LEED certification, which is used as a benchmark to grade our building.

We conclude with the economic analysis, to demonstrate that it is possible to design functional and optimized buildings while observing cost limits related to standard values.

0. IL BANDO DI CONCORSO

Il bando è promosso dalla Greda s.r.l., società che si occupa di ideazione e produzione di capi d'abbigliamento femminile con sede a Carpi, nel cuore dell'omonimo distretto tessile. Il sito di progetto si trova nella parte nord-occidentale del comune, in una zona di nuova espansione industriale, immediatamente adiacente ad un'altra area industrializzata e prospiciente l'autostrada A22 del Brennero. La dimensione del lotto è di circa 8000 m², con potenzialità edificatoria di superficie complessiva di 6174 m² di cui 5427 m² di superficie coperta consentita.

Le funzioni presenti all'interno di questo complesso dovranno essere:

- **Area magazzino e produzione:** la produzione è intesa come creazione del campionario aziendale e dei prototipi, da distribuire ai clienti e alle imprese che si occupano della fabbricazione in serie dei prodotti. Sarà affiancata dal magazzino che accoglierà la merce in arrivo e curerà la spedizione dei prodotti finiti.
- **Area commerciale:** Questa zona comprenderà servizi rivolti alla vendita, sia al dettaglio mediante la creazione di uno store, sia all'ingrosso attraverso la creazione di uno showroom e una zona espositiva del campionario.
- **Area direttiva:** Ossia la zona dedicata agli uffici e all'amministrazione dell'azienda, con servizi di accoglienza rivolti ai visitatori e ai clienti interessati.
- **Area eventi:** Questa parte di edificio potrà ospitare meeting, sfilate e riunioni aperte al pubblico, con una particolare attenzione alla cura degli ambienti interni e la possibilità di osservare i processi produttivi aziendali.

Inoltre, in fase di progettazione, è richiesta particolare attenzione a temi come:

- **Sostenibilità e basso impatto ambientale:** Da ottenersi perseguendo obiettivi di ottimizzazione energetica, studio dell'involucro e degli orientamenti, mirando ad un efficace inserimento urbano e un ottimo sfruttamento delle potenzialità del lotto. Sono richieste certificazioni ambientali come LEED, CASACLIMA, ITACA, ICMQ o altre.
- **Uso efficace dei materiali:** Per distinguere le varie destinazioni d'uso e per trasmettere il messaggio di mission aziendale sia all'interno che all'esterno dell'edificio.
- **Organizzazione del verde esterno e in copertura:** Sia per scopi energetici che di vivibilità.
- **Integrazione domotica:** Elevata controllabilità dei parametri fisici nei vari locali e automazione.

- Accessibilità e sicurezza interna ed esterna.

Nelle linee guida progettuali espresse dal bando sono contenute indicazioni più precise circa la dimensione e la tipologia di locali da collocare nell'edificio. Gli spazi esterni dovranno essere dotati di parcheggi in numero sufficiente al personale interno, alla clientela e all'organizzazione degli eventi, con la costruzione di un parcheggio interrato all'occorrenza.



Figura 1 - Vista in volo del lotto di progetto

Parte Prima

Analisi e conoscenza del Territorio

1. INTRODUZIONE

Questo capitolo verrà dedicato alla descrizione dell'ambiente in cui verrà realizzato il progetto. L'importanza storica e culturale del luogo sono parte integrante della conoscenza necessaria a capire il ruolo svolto da questo tipo di azienda nel territorio Carpigiano. Le tradizioni riguardanti soprattutto la vita economica di questo paese hanno influenzato l'approccio progettuale su cui ci siamo basati all'interno del nostro lavoro. Svolgendo questo lavoro di ricerca ma soprattutto visitando la città, è facile accorgersi che ideare un nuovo edificio riguardante la produzione di abbigliamento non vuol dire solamente dar vita a una nuova costruzione, ma significa arricchire di un'ulteriore immagine un territorio che basa la maggior parte della sua attività produttiva proprio su questo settore. Come nella maggior parte dei distretti economici italiani e stranieri, il dualismo tra competitività e sinergia è alla base della vitalità finanziaria negli anni ha reso Carpi una città riconosciuta a livello europeo e mondiale come una delle più importanti produttrici di capi Made in Italy della nostra nazione. In conclusione, ci troviamo ad interagire con un luogo dove una fabbrica non è solo un "contenitore di forza lavoro", ma un punto di riferimento per l'intera città.

Nel seguito faremo un rapido resoconto di quello che è la storia di Carpi, per poi analizzare più nel dettaglio cosa significhi fare parte di un distretto economico, soprattutto viste le difficoltà sorte negli ultimi anni.

1.1. EVOLUZIONE STORICA DELLA CITTA'

Di origine preistorica e risalente alla civiltà villanoviana, Carpi era inizialmente un borgo medievale probabilmente ricostruito come città fortificata (Castrum Carpi) nell'Alto Medioevo. Nel 1331 infatti, Giovanni di Lussemburgo concesse a Manfredo Pio l'investitura del feudo di Carpi e nel 1332 Manfredo I circoscrisse la prima pianta quadrata del borgo recingendo il nucleo abitato con mura e torri.

Nacque così la Signoria dei Pio. A Manfredo I successe il figlio Galasso ricordato per il suo impegno a favore della tutela dei beni pubblici come strade e piazze. Galasso morì nel 1367 e gli succedettero i figli Giberto e Marsiglio la cui rivalità portò però alla suddivisione della città in due zone distinte a cui ciascuno dei due provvide in maniera separata ed autonoma.

Nel 1389 Carpi passò a Marco I Pio ed il suo territorio si estese nonostante gli attriti e le diffidenze con la Casa Estense. Nel 1418 Marco I Pio morì lasciando l'eredità di Carpi al figlio Galasso II al quale si devono importanti testimonianze architettoniche come un possente torrione del 1445. Intorno alla metà del 1400 venne sistemato il Portico Lungo e configurata la piazza.



Figura 2 - Palazzo Pio

Nel 1477 Carpi diventò feudo di Alberto III Pio ed acquistò importanza modificando il proprio assetto urbanistico: i vari edifici annessi intorno all'originario castello e nati come fortificazioni vennero trasformati in dimora principesca. Nel 1514 la Chiesa della Sagra venne ridimensionata allo stato attuale ed ebbe inizio la costruzione del Duomo che acquisì le sembianze di una corte rinascimentale con al centro un maestoso cortile quadrato del 1504.



Figura 4 - Il portico lungo

Nel 1530 Carpi entrò a far parte del dominio degli Estensi di Ferrara e che avrà vita fino al 1796. Nel 1535 Carpi fu elevata a Principato e nel 1627 ebbe il titolo di città. In questo periodo un'intensa attività edilizia portò alla costruzione di numerosi edifici come la Chiesa di S. Bernardino. In seguito però Carpi venne colpita da numerose calamità che la portarono ad una grave decadenza economica tant'è che soltanto l'antica arte della lavorazione del truciolo con il commercio dei cappelli di paglia le permise di resistere economicamente.



Figura 3 - Duomo di Carpi



Figura 5 - Teatro di Carpi

Nel 1861 si inaugurò il teatro e nel 1874 la stazione ferroviaria. Si costruirono inoltre i primi stabilimenti industriali demolendo parte delle mura e delle porte di accesso alla città: Porta Modena e Porta Mantova. Durante il periodo del Fascismo, Carpi venne ampliata con la costruzione del Foro Boario, del Mercato Coperto, dell'ospedale Nuovo, del Macello e dell'Acquedotto.

Durante la seconda guerra mondiale la frazione di Fossoli diventò tristemente illustre per essere divenuto un campo di concentramento di transito nel quale venivano smistati i convogli diretti ai campi di sterminio tedeschi.

Il Comune di Carpi attualmente ha allestito ed utilizza il campo di Fossoli come memoriale della deportazione e come museo della 2° guerra mondiale ed organizza regolarmente numerose manifestazioni in memoria dell'olocausto.



Carpi è tra le Città decorate al con Medaglia d'Argento al Valor Militare in virtù dei sacrifici delle sue popolazioni e per la sua attività nella lotta partigiana durante la seconda guerra mondiale, e con la Medaglia d'oro al Valor Civile per il supporto dato dai cittadini alle persone detenute al campo di Fossoli per alleviarne le sofferenze e consentirne la fuga.

Figura 6 - Campo di Fossoli, 1943

Superata la guerra, Carpi si è profondamente trasformata, grazie allo sviluppo dell'industria della lana, di un'intensa attività artigianale ed industriale legata inizialmente all'agricoltura e alla lavorazione del truciolo e poi, a partire dal 1950-1960, al settore tessile e meccanico. Attualmente Carpi ha infatti una notevole importanza per la provincia modenese poiché sono presenti molte industrie tessili tra cui spiccano marchi quali Champions, Cosabella, Deltanove, Fujiko, Ella Lu, Gaudi, Via delle Perle, Blumarine, Denny Rose e Liu-Joe.



Figura 7 - Veduta panoramica di Piazza Martiri

1.2. IL DISTRETTO TESSILE DI CARPI

Carpi e il suo sistema economico, una storia di successo, una storia fatta di tessile-abbigliamento, di metalmeccanico, di agroalimentare e di un territorio ricco di opportunità. Rispetto alla media nazionale di un'impresa ogni dodici abitanti, a Carpi è presente un'impresa ogni otto abitanti e non può essere considerato frutto del caso il fatto che proprio qui si sia sviluppato uno dei distretti di più antica data. Il sistema produttivo locale, infatti, evidenzia particolari punti di forza: la presenza di condizioni favorevoli alla nascita di attività imprenditoriale e la partecipazione al mercato del lavoro estesa a tutte le componenti della popolazione.

Il distretto industriale di Carpi ha una storia manifatturiera antica che si è soliti far risalire alla e dei cappelli di paglia, presente fin dal XVI secolo. Carpi produceva e commercializzava sia cappelli di paglia, sia semilavorati, come le trecce di truciolo, che servivano per fare i cappelli. Nel XVII secolo i prodotti dell'area erano venduti sui principali mercati esteri.



Figura 8 - Lavorazione del truciolo e della paglia

L'industria del truciolo e dei cappelli di paglia prosperò fino alla prima parte del Novecento ed entrò in crisi poco prima della seconda guerra mondiale a causa della progressiva riduzione della domanda di questi prodotti, dovuta ai cambiamenti di costume. Le imprese dell'area si trovarono così di fronte all'esigenza di riconvertire la produzione, e durante questa fase di transizione furono diverse le sperimentazioni realizzate: la produzione di reti per cappelli e mimetiche derivanti da commesse militari; la produzione di retine per capelli; le prime produzioni di camicie e di maglie.

Il distretto della maglieria e confezione di Carpi si forma a partire dal secondo dopoguerra. In termini di tasso di crescita, gli anni Cinquanta rappresentano il periodo di massima espansione con gli addetti al settore che da 1.700 nel 1951 raggiungono i 6.400 nel 1961. Le imprese che iniziano l'attività in questo periodo non sono aziende isolate; fin dalla costituzione esse si caratterizzano per essere



Figura 9 - Le prime fasi di lavorazione del truciolo

specializzate in fasi diverse del ciclo produttivo e per avere intense relazioni tra di loro. L'industria della maglieria e della confezione realizza prodotti ideati e manufatti a livello locale, destinati prevalentemente ai mercati esteri.

Il settore nasce con un forte orientamento all'esportazione e registra negli anni Sessanta una delle più elevate propensioni all'export della sua storia. I rapporti con i *buyers* stranieri sono intensi e le relazioni avvengono prevalentemente accogliendo i compratori esteri all'interno del distretto, per mostrare le collezioni ideate dai produttori locali e raccogliere gli ordini. Carpi, come molti distretti con caratteristiche simili, è nato portando "le robe buone" in valigia a Milano, le altre sui banchetti degli ambulanti; ed è cresciuto con nugoli di grossisti e *buyers*, che, stagione dopo stagione, arrivano, vagliano, provano, consigliano e comprano.

Negli anni Sessanta si affermano alcune imprese di dimensioni medio-grandi e le aziende del distretto raggiungono una dimensione media pari a dieci occupati per impresa, che rappresenta la più elevata fra quelle registrate nei decenni successivi.

Gli anni Settanta e gli anni Ottanta vedono una progressiva e rilevante evoluzione dei consumi, caratterizzata dalla forte segmentazione del mercato, dalla differenziazione dei gusti e dei comportamenti d'acquisto dei consumatori. A questo profondo cambiamento del mercato si aggiunge la crescita di una nuova concorrenza localizzata soprattutto nei paesi di più recente industrializzazione.

In questi anni, Carpi abbandona rapidamente le produzioni standard e di massa, che il consumatore europeo comincia ad acquistare nei paesi emergenti, e inizia a produrre capi di migliore qualità e maggiore contenuto moda. I produttori locali investono nella fase di ideazione e progettazione del prodotto, realizzando capi destinati prevalentemente al consumatore donna, molto differenziati e variabili nel tempo, in linea con le ultime tendenze. L'effetto di questa strategia sulla crescita dell'industria locale è evidente: le imprese attive nel distretto aumentano di numero e gli occupati continuano a crescere, passando dagli oltre 10.000 del 1971 ai circa 15.000 del 1981.

Negli anni Ottanta si delinea il posizionamento sui mercati del distretto, che si perfezionerà nel decennio successivo attraverso una rilevante e generalizzata crescita della qualità dei prodotti, del contenuto moda e di stile. Carpi continua a vendere sui mercati esteri, ma nel decennio comincia ad assumere maggiore importanza il mercato nazionale. I tipi di clienti si diversificano e cambiano rispetto al passato. I produttori non vendono più soltanto ai *buyers* stranieri, ma ai grossisti italiani e direttamente ai negozi al dettaglio. Nella seconda metà del decennio, Carpi non è soltanto in grado di ideare e produrre capi sempre nuovi e aggiornati, ma perfeziona anche un modello produttivo che anticipa i principi del *just in time* e della *quick response*. Il modello organizzativo del "pronto moda", così viene chiamato a livello locale, riduce il *time to market* a dieci-quindici giorni, dalla ideazione del capo alla consegna del prodotto finito. Le catene del valore di alcune imprese vengono limitate alle attività progettuali, di marketing e di coordinamento logistico, mentre le attività operative sono sempre più decentrate ad altre imprese che si specializzano per prodotto o fasi del processo produttivo.

Nella seconda metà degli anni Ottanta questo tipo di produzione cresce rapidamente e trova nel mercato italiano il principale sbocco. Grazie alle imprese “pronto moda” il distretto di Carpi riesce a mantenere stabile l'occupazione fino agli inizi degli anni Novanta.

Nel corso degli anni Novanta, per le specializzazioni caratteristiche del territorio, le cose cambiano. Inizia una fase che i più considerano di declino irreversibile. Nel decennio le industrie tipiche del distretto, e in particolare la maglieria, subiscono un fortissimo ridimensionamento: diminuisce in misura molto consistente il numero delle imprese, l'occupazione e l'industria della maglieria e delle confezioni perde peso in rapporto ad altre attività manifatturiere. La nascita di nuove imprese rallenta. La stessa attitudine dei giovani e delle giovani a rivolgersi all'industria locale tipica viene progressivamente meno. Il distretto poco a poco cambia fisionomia.

La fase di difficoltà congiunturale che si è manifestata tra il 2000 ed il 2003 rivela alcune differenze di comportamento e di performance tra le imprese del distretto. Risultano infatti oggi meno sofferenti quelle imprese che hanno sviluppato capacità di risposta al mercato innovando in termini di prodotti, mercati e marchi.

Oggi Il Distretto tessile di Carpi si estende per oltre 275,4 km² e interessa otto comuni situati nella zona nord-occidentale della Provincia di Modena: Carpi, Modena, Cavezzo, Concordia, Novi, San Possidonio, Campogalliano, Soliera. In particolare, all'interno del Distretto si distinguono:

- **Imprese finali:** che progettano e commercializzano il prodotto, acquistano le materie prime e coordinano la produzione che generalmente viene decentrata a imprese di subfornitura;
- **Imprese di subfornitura:** altamente specializzate nella lavorazione di capi in maglia.

Carpi è uno dei più importanti distretti per la maglieria esterna a livello nazionale. I principali punti di forza del distretto di Carpi sono individuabili nell'ampia capacità produttiva, garantita da un elevato numero di piccole e piccolissime imprese, nell'elevato grado di flessibilità e nella capacità di risposta in tempi rapidi alle esigenze del mercato.

Tav. 2.49 – Produzione made in Italy: percentuale di fatturato sviluppata con prodotti realizzati completamente in Italia per comparto prevalente e classe di addetti, 2008
Valori riferiti all'universo delle imprese

	Maglieria % fatturato	Confezione % fatturato	Totale % fatturato
Fino a 9	90,5	100,0	91,5
10-49	86,1	81,2	82,9
50 e oltre	47,6	59,1	57,0
Totale	79,3	71,7	74,2
di cui: marchi e griffe del distretto a elevata visibilità	100,0	69,6	71,0

Fonte: R&I srl - Osservatorio del settore tessile abbigliamento nel distretto di Carpi

Carpi costituisce il cuore di un polo produttivo dall'indice di specializzazione altissimo con un'incidenza media degli addetti del tessile-abbigliamento rispetto all'industria manifatturiera pari al 60,9%. Molte delle maggiori imprese e marchi locali, infatti, per garantirsi una grande flessibilità, appaltano in subfornitura

Figura 10 - Produzione Made in Italy

quasi totalmente la propria produzione a laboratori esterni specializzati nei singoli settori e fasi di lavorazione, mantenendo all'interno solo le funzioni di progettazione, scelta dei materiali, logistica, controllo qualità, magazzino e gestione commerciale. Quasi prive di una struttura produttiva interna, molte imprese sono in grado di crescere praticamente senza vincoli e di lanciarsi in progetti nuovi.

A Carpi nascono i capi di maglieria e confezione che le grandi griffes progettano e firmano, ma non producono ed è ancora considerata la piccola grande capitale europea del tessile-abbigliamento, del Pronto Moda, della maglieria e delle confezioni made in Italy.

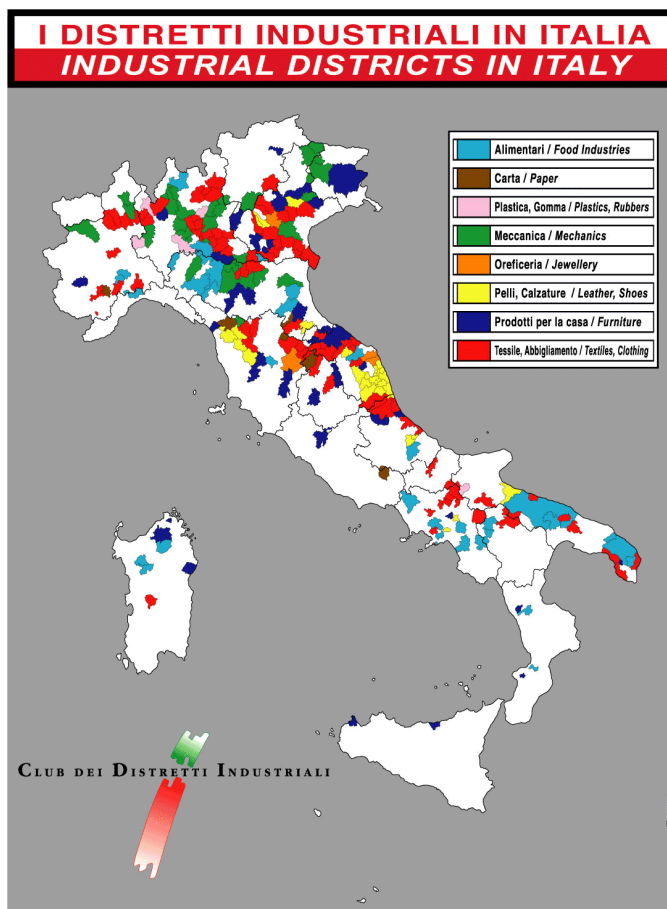


Figura 11 - Mappa dei distretti italiani

All'interno del Distretto operano Istituti Professionali, università e altre istituzioni che si occupano della formazione di figure professionali specializzate nel settore tessile e abbigliamento. Il Distretto industriale di Carpi è stato in questi ultimi anni alle prese con una crisi di settore. Questi anni di crisi hanno portato i carpigiani a trasferire la produzione in altre aree della penisola (ad esempio, la Bassa Ferrarese, le province di Brindisi e Lecce), ma soprattutto in Ungheria, Slovenia, Turchia, Estremo Oriente. Nonostante la criticità di questo snodo, le imprese possono far leva sul fatto di appartenere a un distretto, e cioè di poter contare su competenze professionali, su un know-how accumulato nel tempo e un forte tessuto sociale alle spalle. Si tratta di un patrimonio consistente che Carpi possiede forse più di ogni altra area tessile, e che dunque la rende in un certo senso unica.

Parte Seconda

Il Progetto architettonico

2. INTRODUZIONE

Lo scopo di questo capitolo è la descrizione delle tematiche inerenti la progettazione della Greda. Dapprima si localizza il sito di progetto, illustrandone le caratteristiche e le peculiarità tramite il rilievo fotografico e l'analisi sul territorio a scala ristretta, affrontando il tema dell'analisi cluster applicata allo studio dell'interazione funzionale come modello metaprogettuale. Si prosegue esplicitando il nostro intento progettuale, facendo riferimento anche a dei progetti guida che hanno contribuito al raggiungimento dello scopo per poi arrivare al vero e proprio sviluppo architettonico. Viene descritto il complesso piano per piano, separando funzionalmente la parte direttiva/commerciale da quella produttiva. In questi paragrafi vengono affrontati la descrizione funzionale, l'organizzazione spaziale, le analisi acustiche, illuminotecniche, e le scelte che hanno portato a questo tipo di definizione. Si passa poi allo studio dell'involucro, della sua prestazione e dei materiali che lo compongono. Si conclude con un'analisi sull'accessibilità e le prestazioni anti-incendio.

2.1. II SITO PROGETTUALE: LA NUOVA ZONA INDUSTRIALE DI CARPI

L'area che ospita il lotto di progetto rientra nel nuovo piano di espansione industriale della città di Carpi, che prevede la creazione di nuove aree nelle vicinanze di quelle già esistenti. Attualmente la zona più grande si trova circa a 3km ad ovest del centro storico, a ridosso dell'autostrada. A partire dal 2006 è cominciata l'espansione verso nord di questa area, che ha portato alla creazione di un nuovo bacino industriale, nel quale attualmente sono presenti ancora poche aziende mentre altre sono in fase di costruzione.



Figura 12 - Vista in volo



Figura 13 - Posizione rispetto il centro storico

Come possiamo notare osservando l'immagine sottostante, le aree produttive sorgono ai margini della città, lasciando inalterato il tessuto urbano nelle zone centrali, dedicate alla funzione residenziale. Si intuisce chiaramente il percorso di sviluppo cittadino rispetto queste aree, che tendono ad espandersi nelle zone dove già la concentrazione industriale è alta. Anche il sistema del verde pubblico si concentra nelle zone del centro storico, lasciando al settore agricolo i vasti spazi che circondano la città (di colore bianco sulla mappa).



Figura 14 - Azzonamento dell'area comunale

Un ulteriore testimonianza dello stretto legame tra Carpi e il settore tessile riguarda le soglie storiche di espansione della città. La nascita delle grandi aree industriali comincia negli anni '70, di pari passo con la crescita esponenziale che si è verificata nel settore dei tessuti in quel periodo. Prima di allora non si registrano zone fortemente dedicate alla produzione, visto che il settore commerciale si basava principalmente sulle botteghe artigiane e le piccole imprese a conduzione familiare, che saranno quelle che successivamente daranno origine al distretto tessile come lo conosciamo oggi.

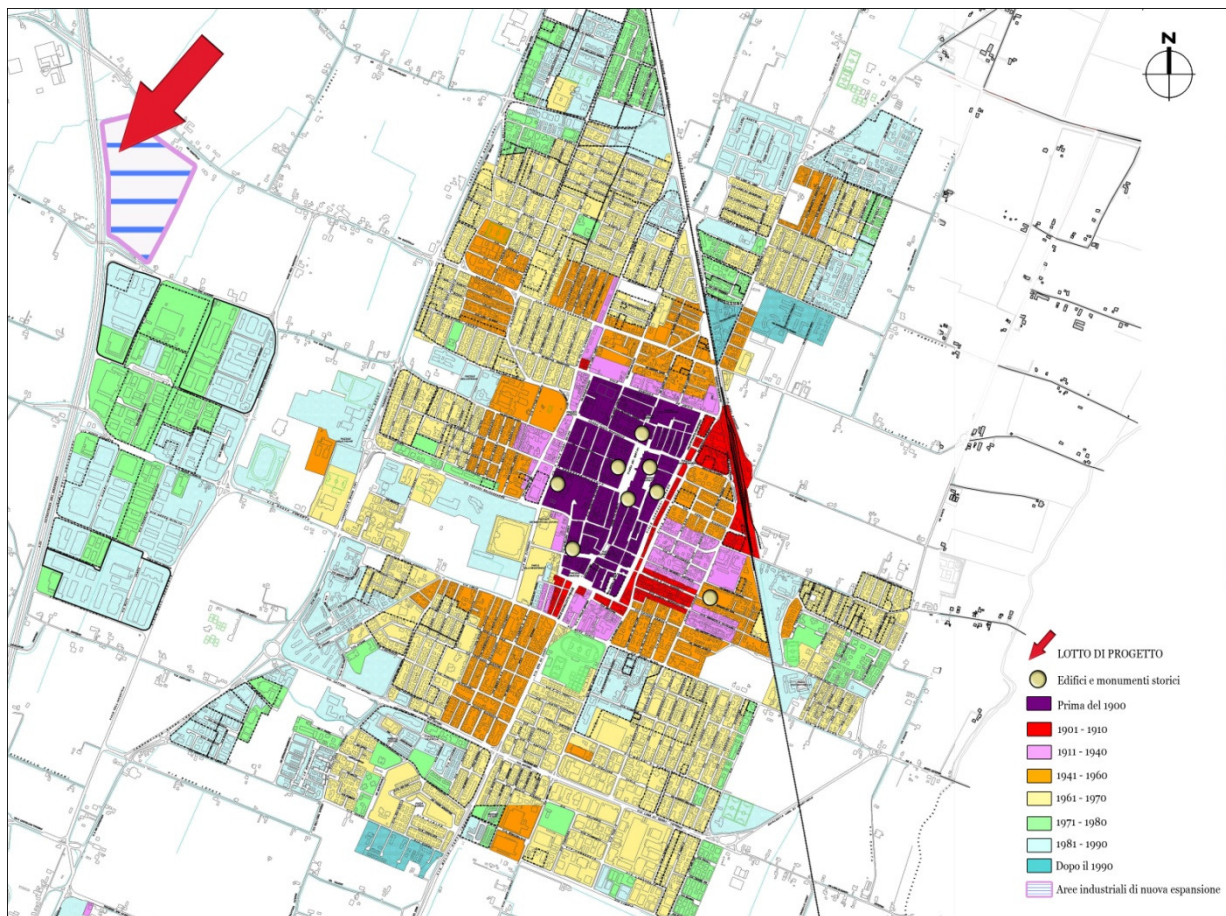


Figura 15 - Soglie storiche di espansione comunale

Per quanto riguarda i trasporti, la zona è ben collegata al centro e alla tangenziale interna mediante via Guastalla e via Manzoni, mentre comunica con la vecchia zona industriale attraverso via dell'agricoltura e via dell'industria.

Viale dell'industria rappresenta anche la via di accesso più rapido all'autostrada, infatti basta percorrerla verso sud per circa 2,5km per raggiungere l'entrata dell'A22 più vicina. La ferrovia taglia in due la città verso est, diventando un'importante arteria di collegamento in alternativa alle strade, da tenere in considerazione per lo sviluppo futuro dei trasporti commerciali nella zona. Attualmente nelle vicinanze della zona industriale non sono presenti molte fermate per i trasporti pubblici, infatti se ne contano solamente due nel raggio di 800 metri, che non costituiscono un'efficace alternativa all'automobile per recarsi sul posto. Per quanto riguarda i collegamenti ciclabili, essi si interrompono nei pressi della vecchia zona industriale, rendendo difficile il collegamento con quella nuova anche a causa delle strade ad elevato scorrimento che si è costretti a percorrere, sconsigliabili per i ciclisti.

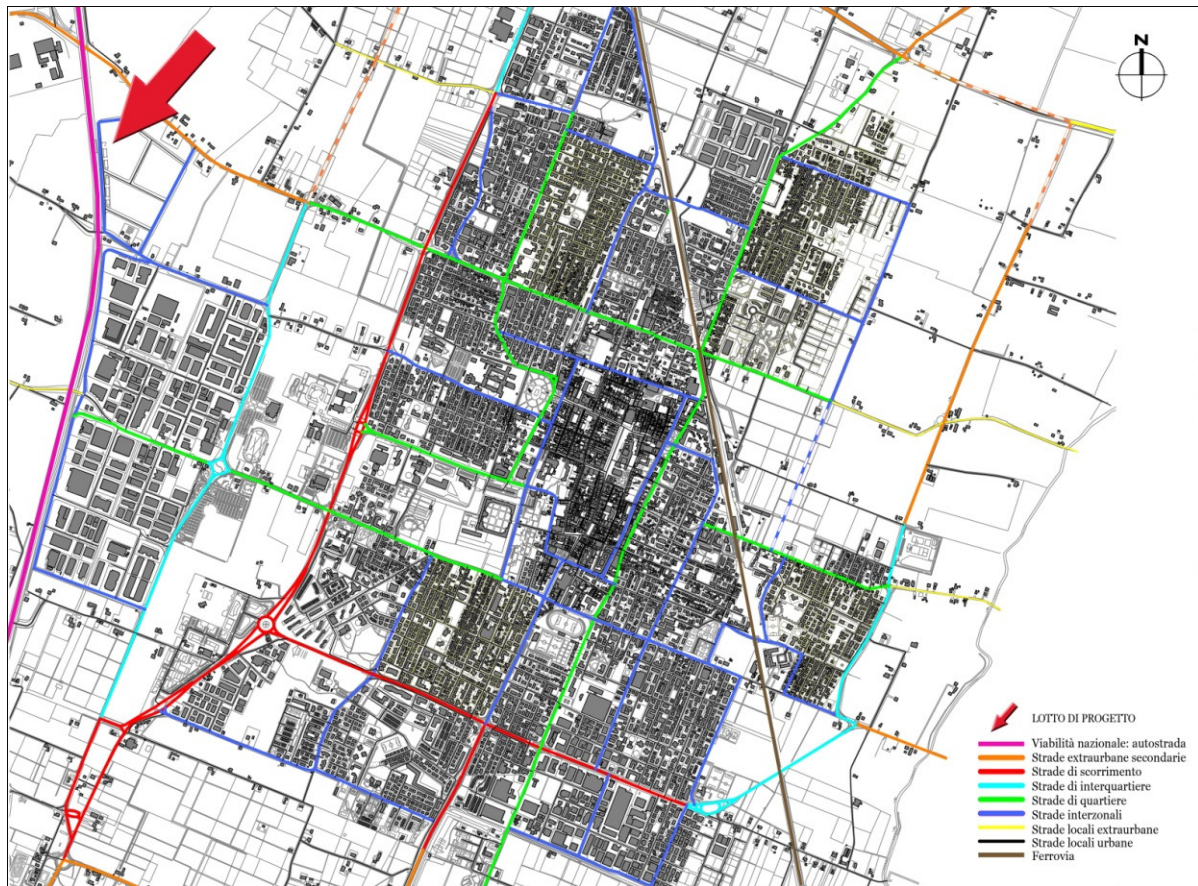


Figura 16 - Classificazione delle strade

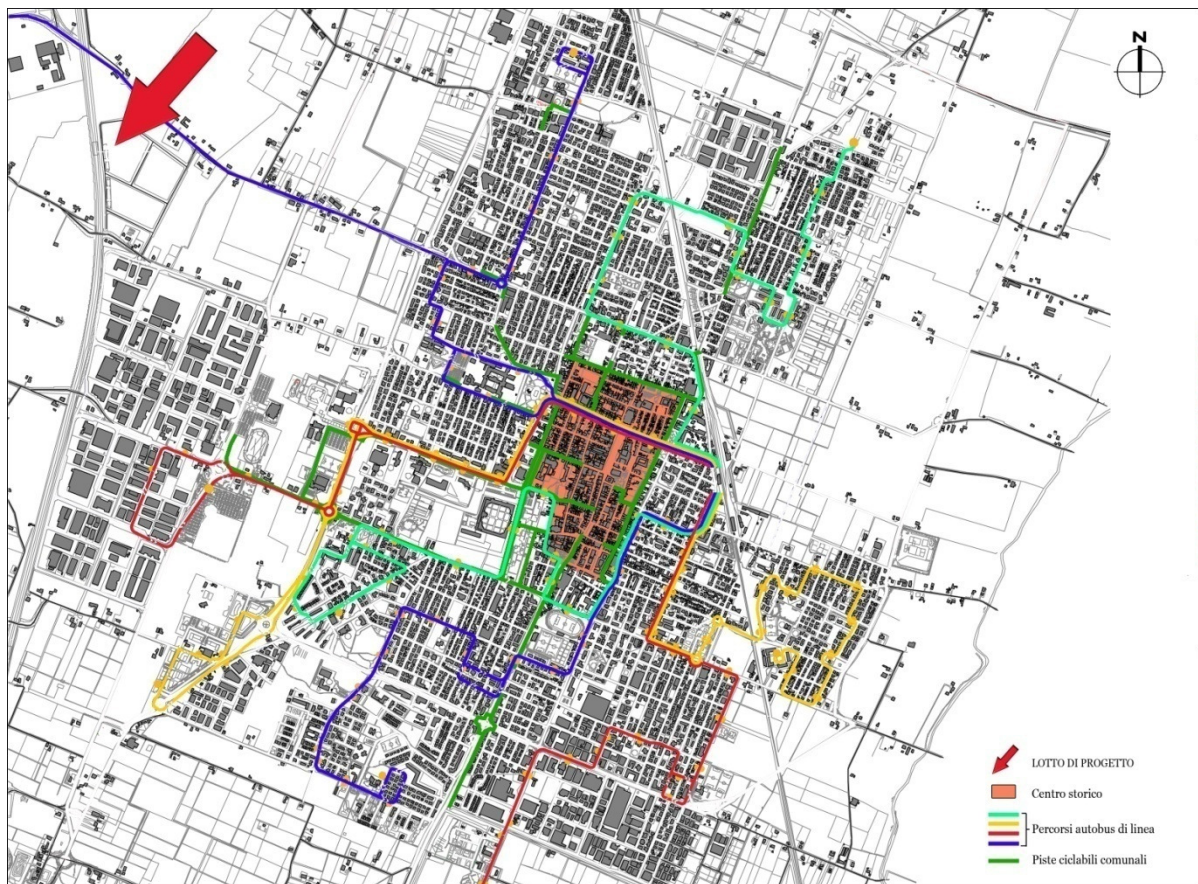


Figura 17 - Trasporti pubblici e percorsi ciclabili

2.2. SOPRALLUOGO E RILIEVO FOTOGRAFICO

Nella fase di reperimento del materiale informativo ha svolto un ruolo importante il sopralluogo. La visita al sito di progetto ha rivelato aspetti che non erano comprensibili dal solo studio delle foto aeree (peraltro di scarsa rilevanza visto che l'area ha uno sviluppo molto recente), delle planimetrie e dal PRG. Durante la visita non ci siamo limitati alla zona industriale ma abbiamo esteso il rilievo anche al centro storico e ai luoghi più importanti del paese, per capire in che contesto storico e architettonico avremmo dovuto muoverci.

Di seguito viene riportato il rilievo fotografico.



Vista del lotto di progetto dal parcheggio antistante.



L'azienda confinante a sud ovest.



Il prato piantumato a nord del lotto.



Vista del parcheggio e dell'autostrada.



Vista dell'ingresso posteriore.



Vista in velocità delle aziende vicine.

2.3. ANALISI F.D.O.M E DEI VINCOLI PROGETTUALI

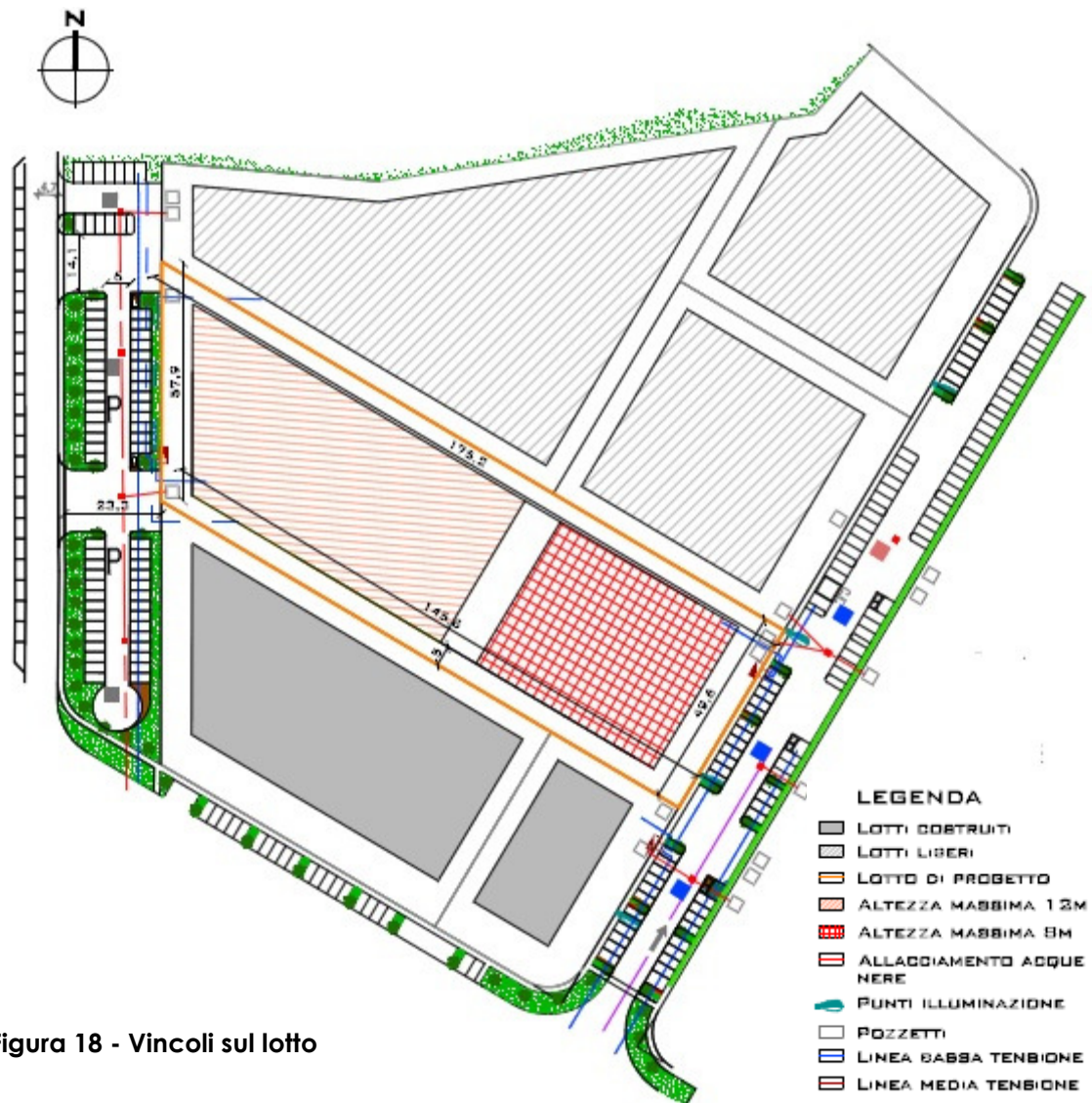


Figura 18 - Vincoli sul lotto

La vicinanza alla A22 del Brennero è sicuramente uno dei punti di maggior forza del sito, soprattutto in relazione al tipo di commercio gestito dall'azienda in questione, la quale ha forti contatti con il nord Europa, in particolare con la Germania e i paesi scandinavi. La Greda S.r.l. infatti basa buona parte del suo fatturato sull'export di capi femminili e articoli per la casa verso questi paesi, coi quali ovviamente intrattiene frequenti rapporti. Anche la linea ferroviaria non è da meno, visto che segue lo stesso percorso dell'autostrada fino a Monaco di Baviera, per poi diramarsi. In questo caso però è meno sfruttata rispetto al trasporto su gomma.

Altri punti di forza sono sicuramente la visibilità da parte di chi percorre l'autostrada, la presenza del verde e di un laghetto artificiale nelle vicinanze e la disponibilità di parcheggi e allacciamenti, oltre al fatto di poter condividere l'area con altre aziende del settore.

Le debolezze invece sono rappresentate dagli scarsi collegamenti pubblici, dalla rumorosità dell'autostrada e dall'isolamento rispetto alle zone abitate.

La vicinanza ad altre aziende del settore è sicuramente una grossa opportunità per quanto riguarda i legami di collaborazione che potrebbero essere favoriti dalla distanza, per contro c'è da tener conto della possibile costruzione di altre fabbriche a ridosso della Greda, che ne potrebbero ostacolare la vista dall'autostrada e limitare la vista dall'interno. Un ulteriore minaccia è rappresentata dall'ancora assente servizio di trasporto pubblico unito al tipico isolamento delle aree industriali causato dall'assenza di abitazioni e di servizi ricreativi nei paraggi.

I principali vincoli di progetto sono invece legati alle NTA comunali e agli allacciamenti già previsti come standard per tutta l'area. In particolare, oltre la densità fondiaria, è importante tenere conto che l'altezza massima consentita non può superare i 12m.

2.4. INTERAZIONI FUNZIONALI

Come abbiamo già detto nel paragrafo precedente, il mix funzionale presente all'interno dell'edificio necessita di un'analisi attenta alle compatibilità tra ambienti, per evitare fenomeni di discomfort all'interno di essi.

Innanzitutto è stato definito l'elenco degli ambienti necessari, organizzato in una tabella a doppia entrata in modo da creare una matrice simmetrica che chiameremo matrice di compatibilità. È stata poi definita una scala numerica da 1 a 5 per esprimere matematicamente il grado di conciliabilità. A questo punto abbiamo attribuito dei valori a ciascuna coppia di stanze, valutandone i requisiti normativi e confrontandoli tra loro. Questo è quello che è risultato:

DESTINAZIONI D'USO	Reception	Segreteria uffici	Primo ascolto	SPA e relax	Store e accoglienza clienti	Esposizione e vendita	Show Room	Zona eventi	Magazzino e produzione	Appartamento custode	Servizi igienici	Area pausa dipendenti	Area cucina	Uffici presidenziali	Open space per uffici	Archivio contabilità	Posti auto interrati	Posti auto esterni	Viabilità pesante	Aree verdi
Reception	X	3	5	2	3	2	4	2	0	1	3	0	0	1	2	0	4	5	0	3
Segreteria uffici	3	X	4	1	0	0	1	2	1	0	3	3	0	1	4	4	5	3	1	2
Primo ascolto	5	4	X	2	1	1	3	3	1	0	3	1	0	0	2	0	1	4	1	3
SPA e relax	2	1	2	X	1	1	3	3	0	2	4	4	1	5	1	0	2	1	0	4
Store e accoglienza clienti	3	0	1	1	X	5	4	3	2	1	3	1	0	0	0	0	2	5	1	5
Esposizione e vendita	2	0	1	1	5	X	4	4	3	2	3	2	0	2	1	0	2	4	0	4
Show Room	4	1	3	3	4	4	X	5	3	2	3	0	0	3	1	0	2	4	0	3
Zona eventi	2	2	3	3	3	4	5	X	4	1	4	1	3	4	1	0	0	4	0	3
Magazzino e produzione	0	1	1	0	2	3	3	4	X	5	4	3	1	3	1	2	1	4	5	1
Appartamento custode	1	0	0	2	1	2	2	1	5	X	5	0	1	1	1	1	3	2	0	4
Servizi igienici	3	3	3	4	3	3	3	4	4	5	X	4	3	3	5	1	0	0	0	1
Area pausa dipendenti	0	3	1	4	1	2	0	1	3	0	4	X	5	2	4	0	1	1	0	3
Area cucina	0	0	0	1	0	0	0	3	1	1	3	5	X	0	1	0	0	0	0	1
Uffici presidenziali	1	1	0	5	0	2	3	4	3	1	3	2	0	X	5	3	3	1	0	4
Open space per uffici	2	4	2	1	0	1	1	1	1	5	4	1	5	5	X	5	3	3	0	3
Archivio contabilità	0	4	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	3	5	5	X	0	0	0	1
Posti auto interrati	4	5	1	2	2	2	2	0	1	3	0	1	0	3	3	0	X	4	0	0
Posti auto esterni	5	3	4	1	5	4	4	4	4	2	0	1	0	1	3	0	4	X	3	3
Viabilità pesante	0	1	1	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	X	1
Aree verdi	3	2	3	4	5	4	3	3	1	4	1	3	1	4	3	1	0	3	1	X

LEGENDA	
0	INCOMPATIBILE
1	
2	
3	
4	
5	MASSIMA COMPATIBILITA'

Figura 19 - Matrice delle compatibilità

L'abbondanza del colore rosso non deve spaventare, ma sta a testimoniare la difficoltà di conciliare i bisogni di certi ambienti con i restanti, creando uno schema piuttosto preciso rispetto la disposizione in pianta. A questo punto abbiamo

rielaborato questa tabella con il metodo dell'analisi cluster. Essa consiste in un insieme di tecniche statistiche atte ad individuare gruppi di unità tra loro simili rispetto ad un insieme di caratteri presi in considerazione, e secondo uno specifico criterio. L'obiettivo che ci si pone è sostanzialmente quello di riunire unità tra loro eterogenee in più sottoinsiemi tendenzialmente omogenei e mutuamente esaustivi. Le unità statistiche vengono, in altri termini, suddivise in un certo numero di gruppi a seconda del loro livello di "somiglianza" valutata a partire dai valori che una serie di variabili prescelte assume in ciascuna unità. Con questo metodo abbiamo ricavato un altro tipo di tabella che esprime in modo più chiaro e di comoda interpretazione la possibile disposizione degli interni.

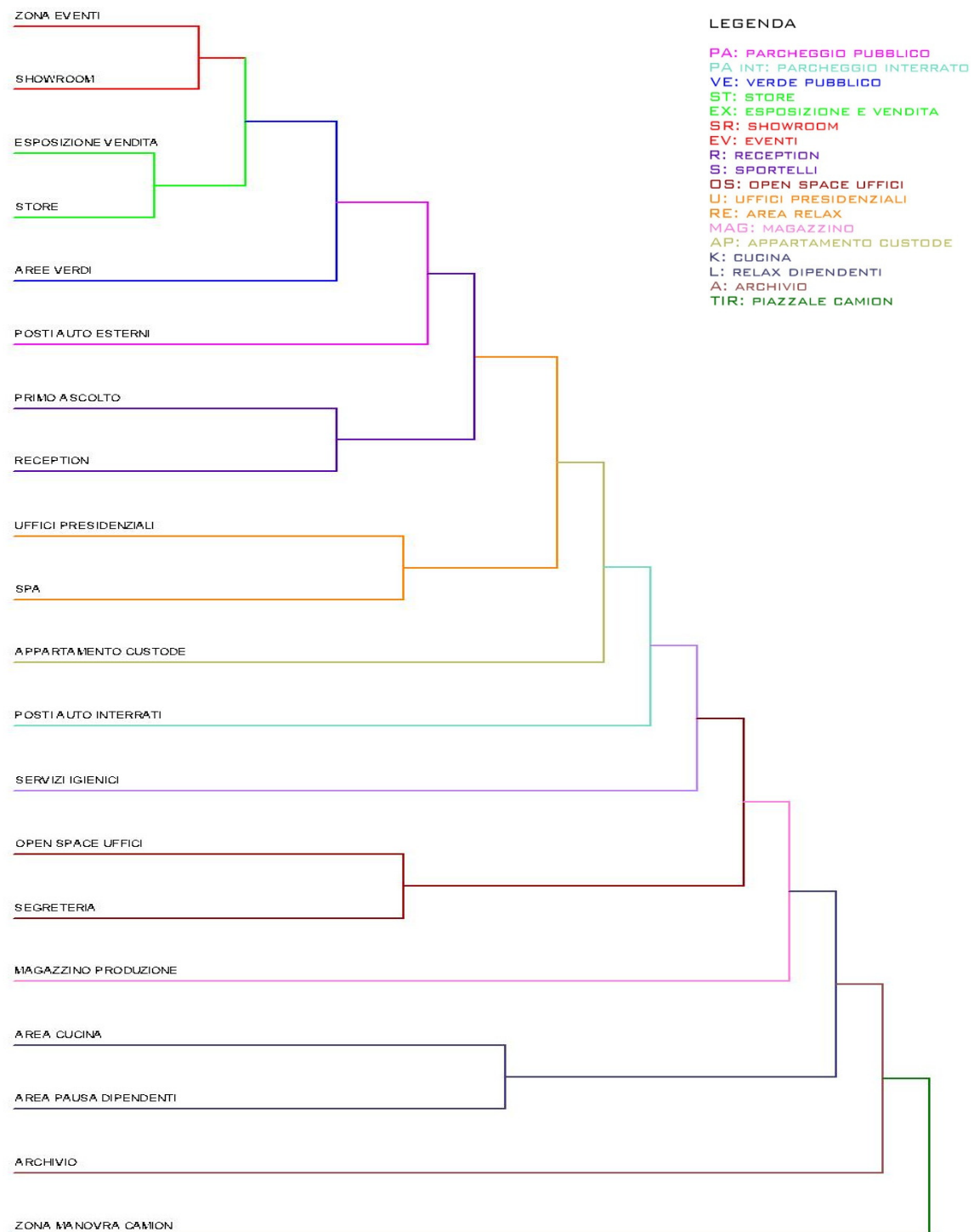


Figura 20 - Analisi cluster metodo centroide

Il software utilizzato è stato Cluster 3.0. Dopo aver scelto il tipo di algoritmo da usare e la distanza in cui esprimere i risultati, si è ottenuto un diagramma in cui vengono rappresentate le varie funzioni, accoppiate ed incrociate a seconda della loro compatibilità. Traducendo ulteriormente tale schema si possono interpretare i risultati come schema distributivo in pianta e quindi ricavare una disposizione spaziale di tipo generico.

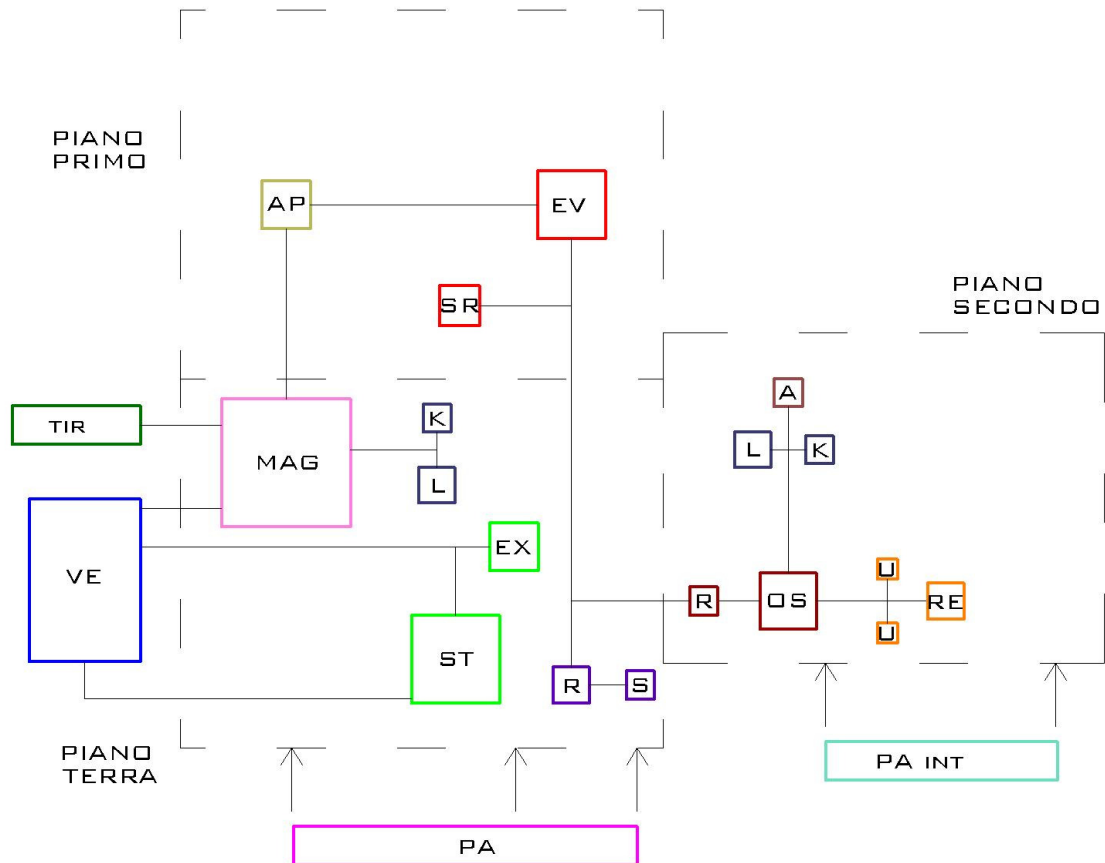


Figura 21 - Schema distributivo in pianta

2.5. INTENTO PROGETTUALE

Una volta analizzate le richieste, raccolta la documentazione necessaria e svolto il sopralluogo, abbiamo cercato di definire alcuni principi e linee guida da tenere ben chiari in fase di progettazione. Innanzitutto abbiamo cercato di capire i bisogni che un'azienda di questo tipo, dimensione e in questo particolare contesto potesse avere. Una caratteristica di particolare importanza è sicuramente la vicinanza all'autostrada, che costituisce un punto a favore della visibilità che ne deriva. Dall'analisi dell'ampiezza del lotto, degli ostacoli presenti e della velocità di percorrenza del tratto di strada in cui è visibile l'edificio è stato ricavato il tempo utile in cui è possibile vedere la costruzione. La durata è stimata intorno ai 5,7 secondi, ossia una finestra temporale piuttosto breve. Il limite di 12m di altezza imposto dalle NTA del comune di Carpi di certo non aiuta in questo senso. Quello che faremo sarà alzarci oltre questo limite solamente con alcune parti strutturali, che possono essere usate senza trasgredire le norme come si evince da un'analisi più approfondita di tale regolamento. Anche la scelta del tipo di architettura e del colore sarà influenzata dalla necessità di catturare l'attenzione del cliente, per rendere la Greda non solo un'azienda riconosciuta ma per farne un simbolo a livello territoriale.

Il mix funzionale che dovrà essere posto all'interno dell'edificio ci obbliga a fare attenzione alla compatibilità tra i vari ambienti, data la diversità di esigenze che dovremo soddisfare. A questo proposito ci sarà utile adattare dei modelli di calcolo come l'analisi cluster al nostro obiettivo. La qualità degli ambienti interni sarà di fondamentale importanza visto l'uso lavorativo e ricreativo che si farà di questi luoghi.

Il nostro studio si concentrerà soprattutto sugli aspetti tecnici da controllare per sfruttare al meglio gli apporti esterni dal punto di vista climatico e della luminosità, organizzando modelli di calcolo innovativi. Ci concentreremo su un tipo di architettura che possa esprimere la mission aziendale, trattando in modo adeguato gli ambienti interni ed esterni, garantendo il massimo comfort ai lavoratori ed ai clienti.

2.6. PROGETTI DI RIFERIMENTO

Dopo aver analizzato le necessità progettuali, le potenzialità e le criticità del sito, abbiamo svolto delle indagini per cercare dei progetti realizzati che potessero contenere validi elementi di ispirazione. La ricerca di soluzioni alternative alla progettazione industriale classica è la chiave del successo di questo progetto, visto l'obiettivo di proporre una nuova logica costruttiva. Abbiamo cercato su libri, periodici e su internet dei possibili esempi di "buona pratica" riguardo la forma architettonica, le soluzioni impiantistiche, strutturali, l'uso dei materiali e le strategie bioclimatiche. La ricerca non si è limitata solamente agli edifici ad uso industriale o direzionale, ma anche ad altre tipologie che potessero contenere dei particolari che facessero al caso nostro. Ognuno di questi spunti, rivisti e modificati secondo le nostre esigenze, hanno dato importanti contributi al raggiungimento dell'obiettivo.

PROGETTO: **Sede Rothoblaas****PROGETTISTI:** Monovolume Architecture**LUOGO:** Cortaccia (BZ)**REALIZZAZIONE:** 2004 - 2005**PARTICOLARITA':** Edificio di nuova costruzione, questo progetto è interessante sotto vari aspetti, ad esempio quello strutturale visto l'uso misto di legno e acciaio, oppure l'abbondante uso del vetro che rende trasparente la zona produttiva. Anche le soluzioni impiantistiche e le stratigrafie hanno dato contributi importanti al nostro progetto.**IMMAGINI:****Figura 22 - Raccolta immagini Rothoblaas**

PROGETTO: MP09 - Headquarter Uniopt Pachleitner**PROGETTISTI:** GSarchitects**LUOGO:** Graz (Austria)**REALIZZAZIONE:** 2007 - 2010

PARTICOLARITA': Questa sede aziendale presenta una organizzazione degli spazi interni molto accogliente e a misura d'uomo, che coniuga lo spazio pubblico e quello lavorativo molto efficacemente. I dipendenti possono usufruire di spazi di associazione e svago sia interni, come le sale ristoro, sia esterni, come la terrazza. Questi spazi dinamici possono essere usati in modo differente anche nel caso si ospitino eventi aziendali.

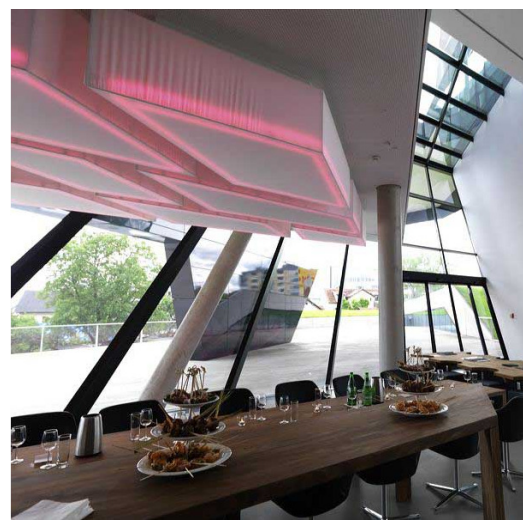
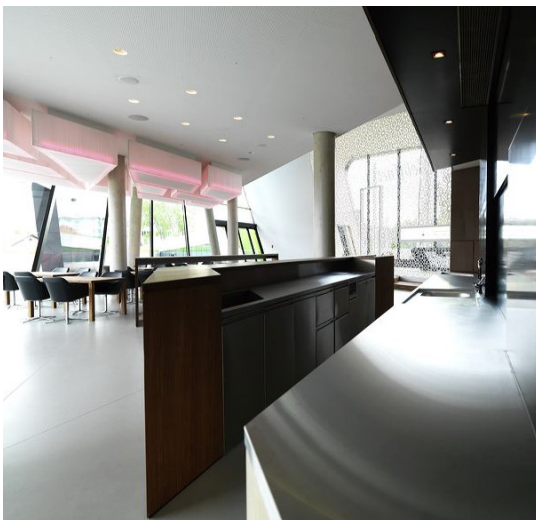
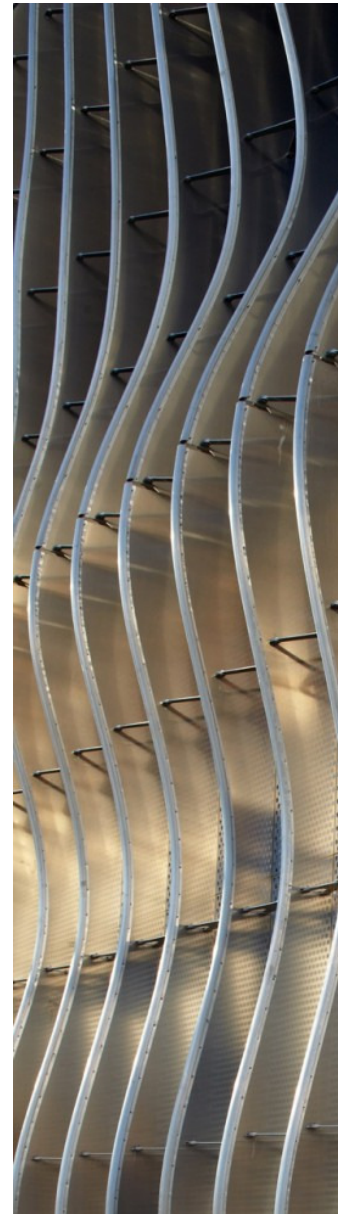
IMMAGINI:

Figura 23 - Raccolta immagini MP09

PROGETTO: **Zahner Factory Expansion****PROGETTISTI:** Crawford Architects**LUOGO:** Kansas City (USA)**REALIZZAZIONE:** 2010 - 2011**PARTICOLARITA':** Il progetto in questione tratta l'espansione di una fabbrica preesistente. La soluzione adottata per la schermatura ricalca esattamente l'effetto da noi desiderato. Una serie di lame in acciaio con profilo curvo disposte ad intervalli regolari sulla facciata crea un effetto di morbidezza, come se l'edificio fosse avvolto da un velo. Questo assicura anche protezione solare nelle diverse ore del giorno.**IMMAGINI:****Figura 24 - Raccolta immagini Zahner Factory**

PROGETTO: **Edificio per appartamenti****PROGETTISTI:** Metaform Architects**LUOGO:** Lussemburgo**REALIZZAZIONE:** 2011

PARTICOLARITA': La facciata di questa casa risulta apprezzabile grazie alla sua apparente completa opacità, sottolineata dal colore nero e dai pannelli in acciaio forato. Il contrasto cromatico con le parti scoperte crea interessanti punti vista, mentre l'apertura dei pannelli rivela dietro di essi le varie finestre apribili. Questa soluzione garantisce uniformità alla parete, un efficace schermatura solare (anche a seconda della foratura) e un aspetto monolitico molto curioso all'edificio. Si adatta particolarmente alle esigenze del nostro magazzino.

IMMAGINI:

Figura 25 - Raccolta immagini appartamenti

PROGETTO: **Oleificio Marmelo Mill**

PROGETTISTI: Ricardo Bak Gordon

LUOGO: Ferreira do Alentejo (Portogallo)

REALIZZAZIONE: 2010

PARTICOLARITA': La grande copertura a sbalzo permette di avere uno spazio coperto piuttosto ampio per consentire la manovra dei camion e agevolare le operazioni di carico e scarico senza dover entrare con automezzi all'interno dell'edificio. Architettonicamente è una soluzione che determina un importante punto di riferimento per l'edificio, rendendo subito riconoscibile la zona d'ingresso e catturando l'attenzione

IMMAGINI:

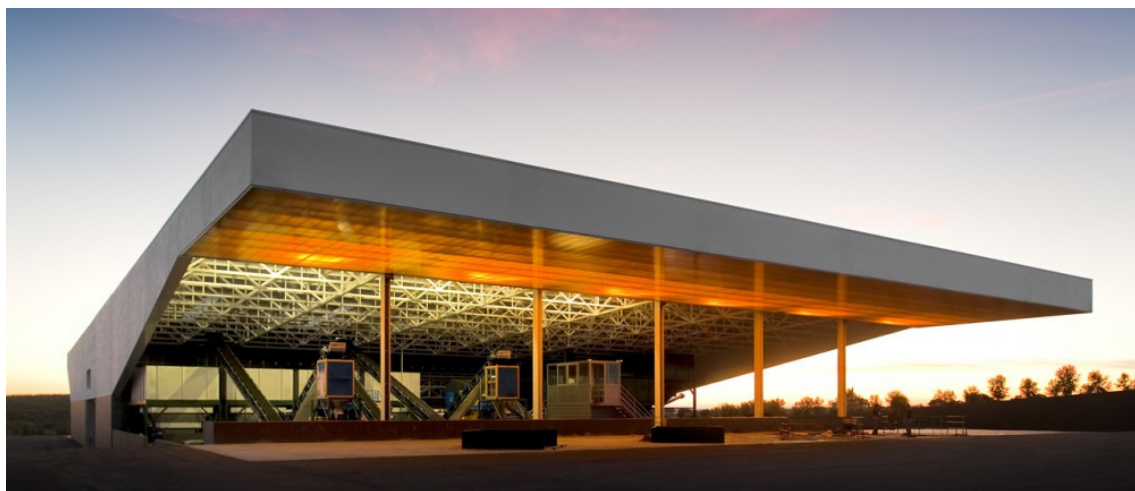
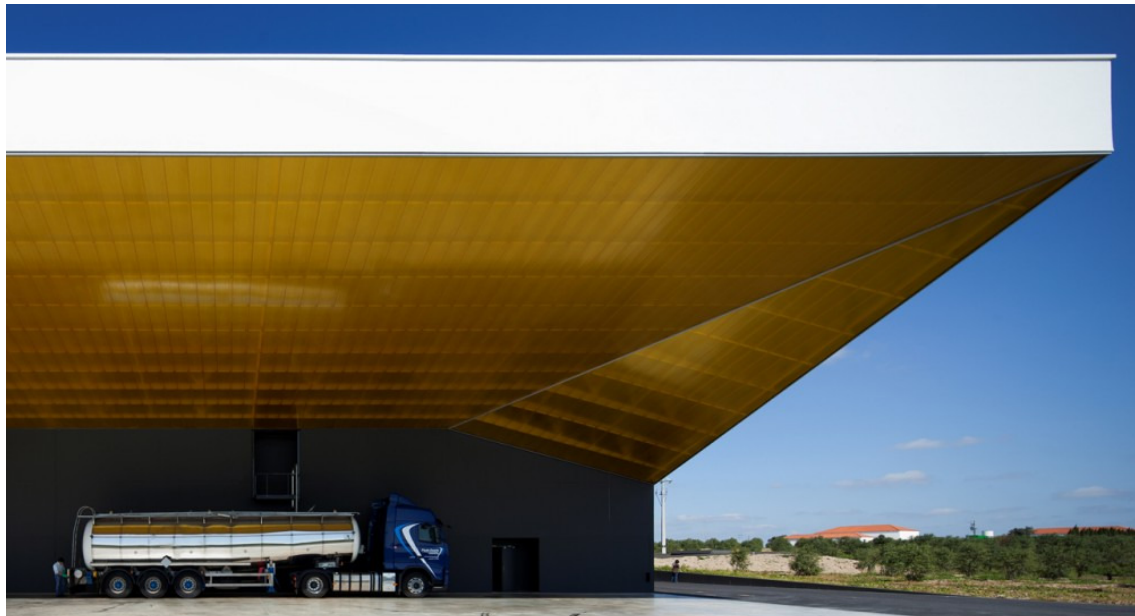


Figura 26 - Raccolta immagini Marmelo Mill

2.7. LA LOGISTICA NELLA PROGETTAZIONE DEI MAGAZZINI

Al momento di decidere quale fosse la strategia migliore per elaborare un adeguato sviluppo in pianta per questo stabilimento, abbiamo svolto alcune ricerche riguardanti la logistica delle principali tipologie di magazzino.

Per prima cosa abbiamo contattato l'azienda promotrice del bando di gara per capire che tipo di esigenze avessero, ad esempio che lavorazioni si sarebbero svolte all'interno dell'edificio, quali sarebbero state le merci in arrivo e in partenza, il volume giornaliero degli scambi e i principali mezzi di movimentazione. Dal dialogo sono emersi alcuni aspetti molto interessanti. Il magazzino infatti sarà destinato alla produzione del campionario, mentre la produzione in serie verrà affidata ad altri stabilimenti. Questo significa che il volume di merci in arrivo sarà limitato alla materia prima necessaria e le lavorazioni che verranno ospitate saranno di tipo leggero. Si prevedono postazioni per lavori di taglio, cucitura e puntino, oltre a spazi per il deposito dei capi finiti e dei disegni provenienti dalla sede creativa. Anche l'area di imballaggio non necessiterà di particolari accorgimenti dato il peso e l'ingombro modesto dei prodotti. Questo ci fa capire che la volontà aziendale è quella di creare un "officina creativa", dove prendono forma le idee degli stilisti, dove vengono realizzati e studiati i prototipi, un luogo accessibile al pubblico che illustri la filosofia aziendale e i metodi di produzione. Queste caratteristiche hanno influenzato molto le nostre scelte, indirizzandole verso la creazione di un luogo che risponda alle necessità logistiche di un magazzino e che allo stesso tempo sia capace di trasmettere un'immagine in contrasto coi classici stabilimenti industriali.

Cominciamo analizzando gli aspetti più pratici della progettazione; commenteremo più avanti le scelte architettoniche. Dal punto di vista logistico i magazzini possono essere suddivisi in quattro tipologie:

- 1. Magazzini a bassa densità e bassa movimentazione**
- 2. Magazzini ad alta densità e bassa movimentazione**
- 3. Magazzini a bassa densità ed alta movimentazione**
- 4. Magazzini ad alta densità ed alta movimentazione**

TIPO MAGAZZINO	STRUTTURA	MACCHINE
Area all'aperto	Piazzale con pavimentazione	Carrelli a forche grande portata Autogru Gru a portale semov. gommate Gru a portale su vie di corsa
Magazzino a carroponti	Capannone a navate e campate sgombre	Carroponti con event. attrezz. speciali
Magazzino a zone di deposito	Capannone a navate e campate sgombre	Carrelli elevatori a forche frontali
Magazzini a scaffalature con mov. a carrelli el.	Capannone a navate e campate con scaffalature non autoportanti	Carrelli elevatori a forche frontali o laterali o retrattili
Magazzino a scaffalature non autoportanti	Capannone a navate e campate con scaffalature non autoportanti	Trasloelevatori con movim.meccan. o automatici - Macchine di testata
Magazzino tipo alta densità	Scaffalature autoportanti tetto e pareti	Trasloelevatori autom. Macchine di testata

Figura 27 - Tipologie di magazzini

Secondo quanto stabilito prima, ci troviamo sicuramente nel primo caso. Se esaminiamo invece le varie tipologie di magazzino possibili, correlate con il tipo di scaffalatura e di movimentazione più consigliato nei vari casi, possiamo riassumere:

Secondo questa classificazione potremmo trovarci in una delle due situazioni evidenziate. La differenza sta soprattutto nei mezzi di movimentazione; la prima soluzione prevede l'uso di carrelli elevatori a forche, mentre la seconda prende in considerazione l'utilizzo di trasloelevatori. I trasloelevatori sono indicati per movimentazioni dal volume piuttosto elevato, dove si necessita di velocità e precisione nello stoccaggio, utilizzando meno spazio possibile. Nel nostro caso i dispositivi meccanizzati non sono particolarmente necessari, per cui valutandone la fattibilità economica abbiamo deciso di scartare questa ipotesi, preferendo un classico sistema a forche, non meccanizzato.

Definita la tipologia di magazzino, siamo passati alla configurazione del layout ottimale. In linea di massima possiamo distinguere due differenti soluzioni:

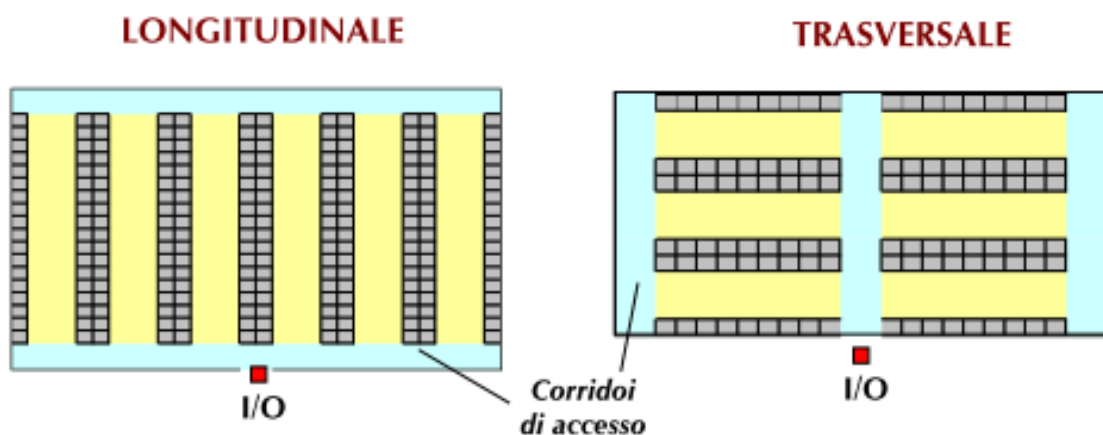


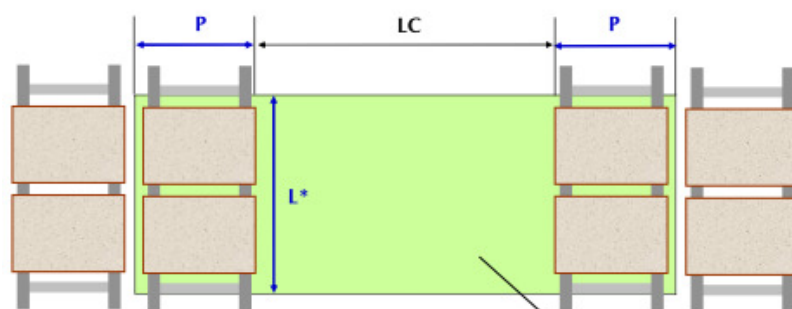
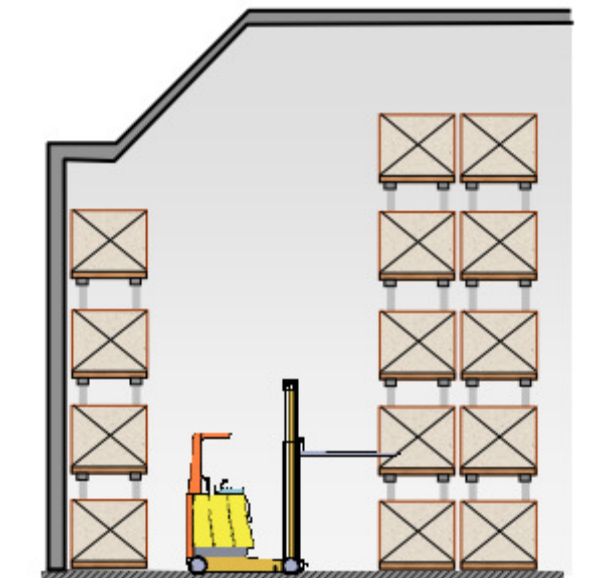
Figura 28 - Disposizione del layout

In realtà la soluzione che a nostro giudizio ha rappresentato il miglior compromesso, valutando anche la disposizione dei locali annessi al magazzino, la dimensione e forma del lotto, l'orientamento e gli spazi disponibili è un layout longitudinale con un grande corridoio centrale disposto parallelamente agli scaffali. Questa scelta ha permesso di dividere in due macrozone il magazzino, una dedicata alla produzione e ai locali accessori e una dedicata allo stoccaggio delle merci e al loro imballaggio. Come vedremo meglio nei paragrafi seguenti, la presenza della facciata vetrata da cui si possono scorgere tutte le scaffalature presenti, rappresenta un punto di forte impatto visivo per i visitatori. L'ingresso all'edificio è unico e largo 4,5 metri, dato che non si prevedono problemi di contemporaneità tali da richiedere la presenza di due o più ingressi separati dedicati all'entrata e all'uscita delle merci.



Figura 29 - Schemi tipici di ingresso

Una volta scelto il tipo di magazzino, il layout e il tipo di ingresso più adatto siamo passati alla definizione delle scaffalature. L'altezza sottotrave è uno dei parametri principali per il dimensionamento dei ripiani. I vincoli in altezza definiti dalle normative comunali e il passo strutturale hanno portato alla definizione dell'altezza disponibile, che corrisponde a 7 metri. Confrontando questo dato con i mezzi di movimentazione scelti e la dimensione dei pallets abbiamo optato per una scaffalatura di profondità 1000mm con altezza dei ripiani variabile a seconda delle esigenze. Abbiamo stabilito come altezza massima di stoccaggio (quindi dell'ultimo ripiano) 5,6 metri, lasciando disponibile l'ultimo metro per l'ingombro dei pacchi. Per quanto riguarda la larghezza dei corridoi di lavoro ci siamo confrontati da subito con le schede tecniche dei mezzi previsti.



LC : larghezza corridoio

L* : luce interna del vano + spessore montanti

Area del modulo unitario

Figura 30 - Modulo unitario

Il tipo di scaffalatura scelta è:

SCAFFALATURA PORTA PALLET

SCAFFALATURA A INCASTRO PORTA PALLET

Scaffalatura pesante porta pallets che consente lo stoccaggio di unità di carico pallettizzate. La grande portata (fino a 29 ton per spalla e 5400 kg per coppia di correnti) è associata alla modularità che garantisce la massima flessibilità nelle composizioni, alla semplicità e rapidità nel montaggio e alla sicurezza, grazie alle soluzioni ad incastro brevettate anti-sfilamento.

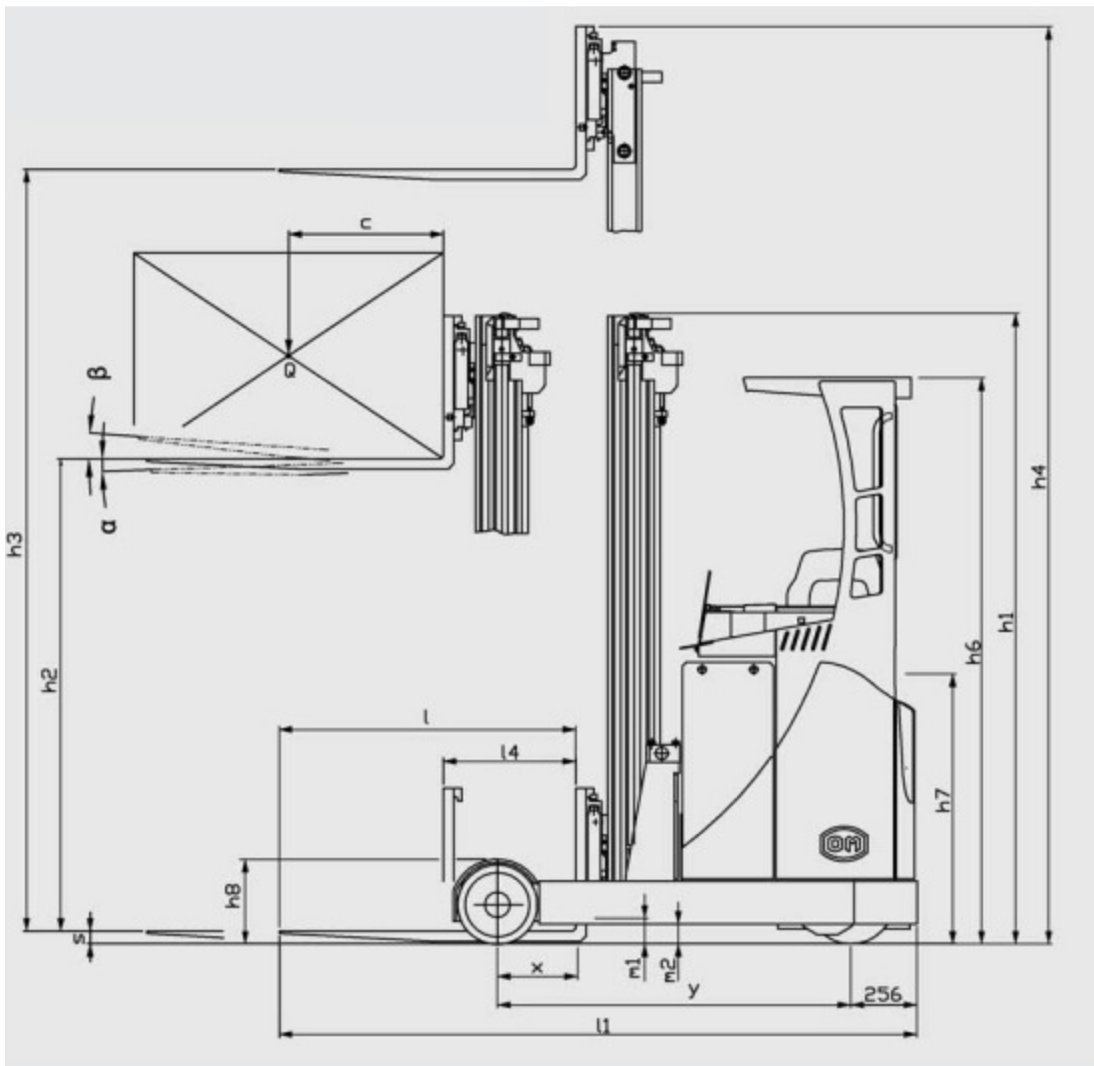
MATERIALE

- Spalle acciaio altoresistenziale zincato Sendzimir S350-GD
 - Correnti acciaio altoresistenziale zincato S350-GD
 - Piani a tegole in acciaio altoresistenziale zincato Sendzimir S280-GD
 - Rivestimento: 200gr di zinco per mq.
-
- Portata: da 9 a 29 tonnellate per spalla (v. tabella componenti)
 - Carico per coppia di correnti da 900 a 5400 Kg
-
- Profondità spalle: 600 - 800 - 1000 - 1200 mm (standard).
 - Lunghezza utile campata: 1300 - 1800 - 2200 - 2700 - 3600 mm (standard).
 - Sicurezza: sistema antisfilamento in acciaio zincato a spina che impedisce il disinnesto accidentale dei correnti.



Figura 31 - Scheda tecnica della scaffalatura

Il primo mezzo di movimentazione scelto è un carrello elevatore a forche frontali di dimensioni molto contenute:



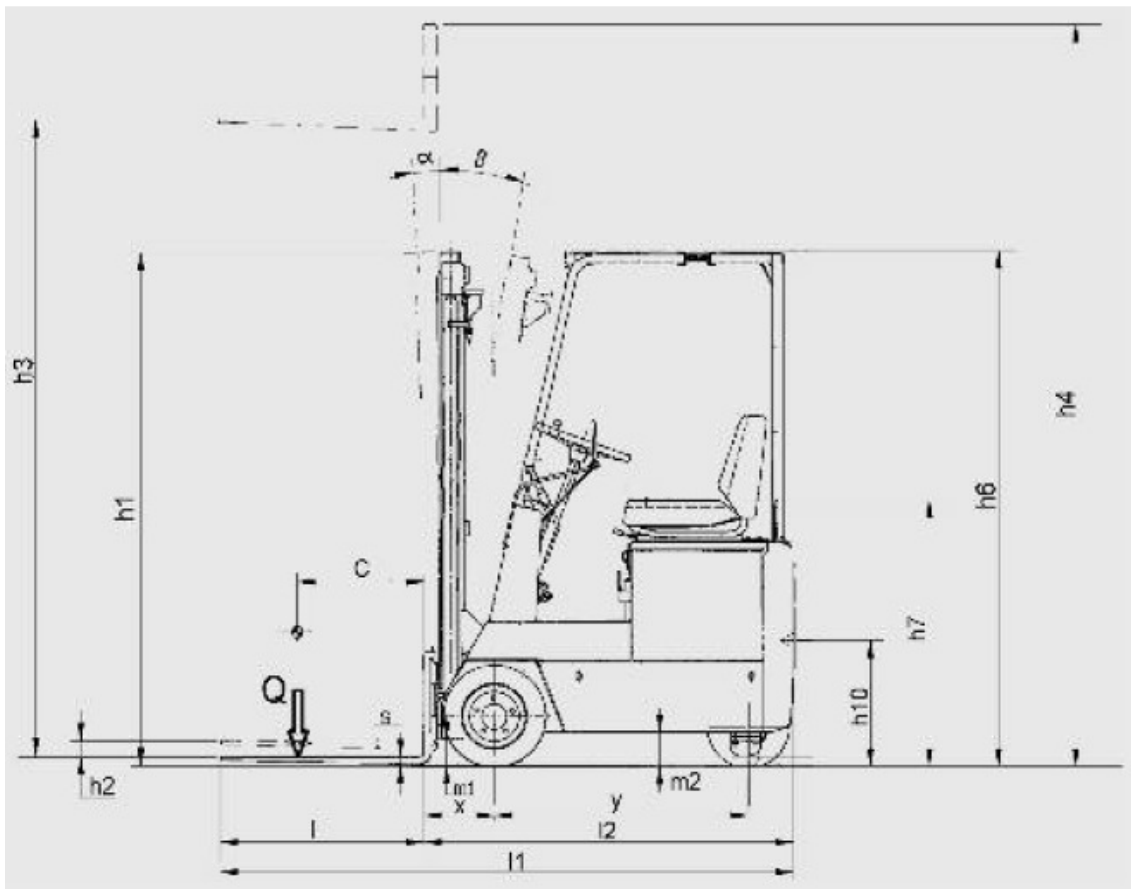
h3 [mm]	4825	5000*	5575	5750*
h2 [mm]	1570	1570	1820	1820
h1 [mm]	2200	2200	2450	2450
h4 [mm]	5455	5630	6205	6380

4.33	Corridoio di lavoro pallet 1000x1200 inforcamento 1200	Ast (mm)	2699 ⁽³⁾	2753 ⁽³⁾
4.34	Corridoio di lavoro pallet 800x1200 inforcamento 800	Ast (mm)	2749 ⁽⁴⁾	2815 ⁽⁴⁾
4.35	Raggi di curvatura	Wa (mm)	1633	
4.19	Lunghezza totale	l1 (mm)	2400 ⁽⁵⁾	2473 ⁽¹⁾

Figura 32 – Scheda tecnica carrello elevatore

E' un tipo di mezzo piuttosto semplice da manovrare, capace di muoversi e di svoltare in poco spazio e di raggiungere l'altezza di sollevamento voluta. Oltretutto è un mezzo elettrico, per cui non ha emissioni nocive.

Abbiamo previsto anche l'uso di un mezzo alternativo, sempre della stessa tipologia ma con una portata inferiore nel caso non fossero richiesti carichi oltre la tonnellata.



E 8N E 10N	Altezza sollevamento	h_3 mm	2900	3600	4000	5000	2900	3600	4300	4700	5000	5600
	Altezza minimo ingombro	h_1 mm	2095	2445	2645	3145	2020	2370	2005	2135	2240	2435
	Altezza massimo ingombro	h_4 mm	3480	4180	4580	5580	3470	4170	4875	5270	5580	6170
	Alzata libera	h_2 mm	150	150	150	150	1450	1800	1435	1565	1670	1865

4.33	Larghezza corridoio con pallet 1000x1200 con inforamento 1200	Ast (mm)	2955	2955
4.34	Larghezza corridoio con pallet 800x1200 con inforamento 800	Ast (mm)	3075	3075
4.35	Raggio di volta	Wa (mm)	1295	1295
4.19	Lunghezza totale	l1 (mm)	2430	2430

Figura 33 - Scheda tecnica carrello elevatore

Le scelte formulate fino a questo momento, insieme ad altre logiche progettuali che vedremo più avanti, determineranno lo sviluppo finale del nostro magazzino. Particolare attenzione è dedicata al passo strutturale. Le luci delle travi variano tra i 9,5 metri e i 6,5 metri. Questa maglia si coniuga in maniera efficace con le necessità del magazzino, permettendo una disposizione ottimale della scaffalatura, oltre a mantenere un'altezza delle travi abbastanza contenuta e compatibile con le nostre scelte architettoniche.

2.8. LO SVILUPPO IN PIANTA

2.8.1. IL MASTERPLAN

Il lotto, di forma vagamente trapezoidale, è disposto lungo l'asse est-ovest con un'inclinazione di circa 20° verso nord. La zona, di recente sviluppo, è dotata di due accessi predisposti sui lati corti del lotto, entrambi dotati di parcheggio esterno. Il fronte principale è quello diretto verso l'autostrada, ossia il prospetto nord-ovest, questo soprattutto per un fatto di visibilità aziendale. La forma allungata costringe a svilupparsi in profondità più che in larghezza, e questo crea non pochi problemi all'organizzazione interna che deve essere pianificata seguendo l'andamento di spazi più ristretti. Si è deciso di separare spazialmente in due blocchi le diverse funzioni dell'edificio, lasciando quelle rappresentative (come lo store, gli uffici e la zona eventi) nella parte frontale, quella più stretta, mentre nella zona retrostante è stata collocata la parte dedicata al processo produttivo, ai locali accessori e all'appartamento del custode. Come si nota dal masterplan la zona produttiva ha una forma più regolare e funzionale viste le esigenze interne: la necessità di ampi spazi per immagazzinare le merci e di muoversi agevolmente tra gli scaffali, nonché tra le postazioni di lavoro, ha fatto propendere per una forma rettangolare molto semplice.

La scelta di addossare l'edificio a un lato del lotto è stata fatta per ricavare un ampio giardino aziendale di rappresentanza che possa accogliere i percorsi di accesso all'edificio. La presenza del verde serve soprattutto a mitigare la presenza di soli impianti industriali nella zona, ad accogliere i visitatori e i clienti, ma soprattutto a migliorare le condizioni di lavoro e la vista dei dipendenti, che potranno usufruire liberamente di questi spazi durante le varie pause. Dagli ingressi sul fronte nord-ovest si diramano due percorsi, uno più corto che consente di accedere velocemente alla reception, collocato vicino all'ingresso carrabile, ed uno più lungo che, passando attraverso il giardino e a due grandi aiuole decorate, può condurre allo store o all'ingresso principale dell'edificio. La struttura è dotata di un parcheggio privato interrato meccanizzato da 16 posti auto, disponibile sia per i dirigenti che i dipendenti, nonché gli eventuali visitatori. Ad esso si accede tramite un cancello laterale che porta direttamente alla piattaforma mobile di ingresso, situata a ridosso di uno degli ingressi all'edificio. I percorsi pedonali invece portano al vero e proprio ingresso principale della zona direttiva, oppure si snodano attraverso il giardino fino a raggiungere lo store e la zona commerciale. Gli ingressi sul retro invece sono pensati in un'ottica strettamente funzionale; le due ampie entrate sono pensate per accogliere il passaggio dei camion e di altri eventuali autoveicoli, mentre i parcheggi pubblici rimangono sull'esterno, ad eccezione di due posti auto scoperti riservati al custode e collocati nei pressi dell'ingresso all'appartamento. Anche in questo caso è presente del verde che contribuisce a rendere meno opprimente il piazzale di manovra e a rendere più attraente anche una zona strettamente lavorativa come questa.

Le coperture dei due blocchi sono trattate in maniera totalmente differente: quella sopra gli uffici è una copertura piana in alluminio, che ospita l'impianto fotovoltaico e due lucernari mentre quella sul magazzino è un tetto per la maggior parte verde, con una zona esterna pavimentata in legno e un grande lucernario con vetrata fotovoltaica al centro. La scelta del tetto piano è stata fatta per sopperire al bisogno di energia da parte dell'edificio e riuscire a sfruttare il più possibile la copertura come fonte di energia rinnovabile, vista anche la scarsa rilevanza architettonica dell'elemento.

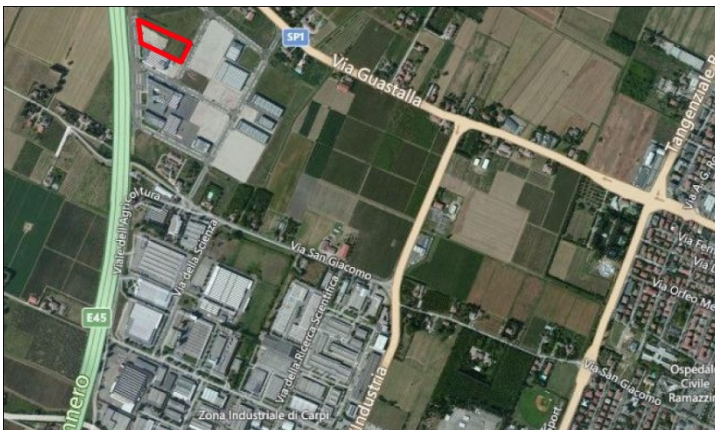


Figura 34 - Masterplan

2.8.2. PARCHEGGIO INTERRATO – ZONA DIREZIONE

Al di sotto dello store è collocato il parcheggio meccanizzato. Esso è stato preferito ad un più classico parcheggio interrato per varie ragioni, sia pratiche che economiche, visto anche il numero esiguo di posti auto coperti richiesto dal bando. Ad esso si accede tramite una piattaforma riparata e movimentata verticalmente in modo meccanico, che collega il livello carrabile al sotterraneo. La piattaforma compie anche un movimento rotatorio, che permette un'uscita più comoda degli autoveicoli, evitando la retromarcia. I posti totali sono 16 (due file da 6 posti e una da 4 posti), sufficienti per buona parte delle persone presenti in ufficio. Tra le più importanti caratteristiche dei parcheggi automatizzati, si evidenziano:

- Un migliore sfruttamento di superfici e volumi rispetto a soluzioni tradizionali a rampe, perché consentono il ricovero di un numero maggiore di autovetture con scavi di volumi minori;
- Sicurezza per l'utente, non soggetto ai rischi di locali generalmente isolati, quasi mai sufficientemente protetti;
- Minore complessità e quindi minori costi di impianti tecnologici ausiliari (normative VV.FF.), rendendo spesso anche più accettabili esteticamente le sistemazioni di superficie, dato il minor impatto ambientale;
- Assenza di inquinamento nei locali di parcheggio, dovuta alla movimentazione delle auto a motore spento;
- Tempi di attesa limitati per prelevare una vettura rispetto al modo tradizionale di prelievo tramite rampe da un impianto a box interrati.
- Affidabilità tecnologica e semplicità della manutenzione, raggiunte attraverso tutte le esperienze accumulate nel tempo sia nello specifico settore, sia in quello più generale dell'automazione;

I seguenti prospetti consentono di comprendere immediatamente come possano essere tradotti questi vantaggi in termini economici e spaziali. Le tabelle sono indicative per un impianto meccanizzato generico, ogni situazione deve comunque essere valutata caso per caso. Per l'ottimizzazione del rapporto costi/prestazioni nella progettazione e realizzazione di un parcheggio meccanizzato o automatizzato, è essenziale partire dalla disponibilità di una gamma completa di soluzioni meccaniche di base, che di volta in volta devono essere personalizzate allo scopo di perfezionare il progetto, sia dal punto di vista qualitativo che prestazionale ed economico, ottimizzando il costo complessivo dell'opera in riferimento alla parte edile e a quella meccanica. Possiamo notare che la voce che incide in maniera più importante nella gestione di un parcheggio è il personale. Nel nostro caso, viste le dimensioni limitate, non c'è bisogno di personale addetto alla sorveglianza quindi i costi per la gestione sono pressoché pari ad un parcheggio di tipo classico. Non dobbiamo dimenticare che una soluzione tecnologicamente più avanzata contribuisce a dare risalto all'immagine aziendale (parametro impossibile da quantizzare in termini economici), oltre a valorizzare l'edificio in caso di vendita.

CONFRONTO TRA PARCHEGGI MECCANIZZATI E PARCHEGGI A RAMPE

A parità di volumi, rispetto ai tradizionali parcheggi a rampe, si possono parcheggiare in alcuni casi fino al 40% in più delle vetture: si risparmiano le rampe (10-15% del volume), gli spazi di accesso laterali alle auto in sosta, si diminuiscono le distanze tra un piano e l'altro, si evitano le finiture degli ambienti (pavimentazione, serrande box, sistema di illuminazione ecc).

Si possono realizzare in volumetrie più ridotte dove i parcheggi a rampe non sono possibili.

Mentre i parcheggi a rampe devono essere costruiti in grandi piazze, quelli meccanizzati possono essere costruiti in strade o piazze di dimensioni più ridotte. Anche la profondità di scavo può essere ridotta, quindi con riduzione di costi e con vantaggi per la stabilità degli edifici, evitando per lo più interferenze con la falda.

Minori intralci alla circolazione durante i lavori di costruzione per la minore invasività dell'area di superficie coinvolta e riduzione dei tempi di realizzazione mediante, quando possibile, la prefabbricazione e con necessità di aree di cantiere più piccole.

La flessibilità del sistema permette l'integrazione dell'autosilo e dei suoi locali di entrata/uscita in altre infrastrutture e servizi.

Tempi di realizzazione

Grazie al minore volume occupato, i tempi di scavo sono minori rispetto ai parcheggi a rampe. Il sistema di movimentazione auto può essere inserito dopo che sono completate le opere edilizie.

Ecologia

I motori delle autovetture sono spenti, quindi non vi è alcun inquinamento né acustico, né atmosferico, rispetto alle grate dei parcheggi a rampe, che inquinano gli spazi in superficie.

Economia

Il costo a posto macchina può essere competitivo, grazie al miglior sfruttamento dello spazio e a inferiori costi dell'impianto strutturale. Minore impiego di manodopera nella gestione, in quanto non è strettamente necessaria la guardiana, e costi di gestione in generale più limitati. Minori oneri assicurativi per incendio, furto e responsabilità civile.

Sicurezza

Esclusa la presenza di una guardia all'interno dell'autosilo, perché è l'auto che sale al piano stradale, e quindi nessun pericolo per le persone e per la loro sicurezza.

Minori possibilità di incendio che normalmente è causato dai ritorni di fiamma delle autovetture. Questo dà vantaggi per le auto a GPL (non consentite negli attuali parcheggi a rampe) e in futuro a idrogeno.

Tutte le sicurezze previste per legge sono comprese nel sistema. In caso di black-out, è prevista un'alimentazione di emergenza. Può essere previsto un centro di controllo remoto, eventualmente per più parcheggi.

Qualità

Funzionamento completamente automatico con utilizzo di scheda magnetica per i residenti. Possibilità della completa automazione della riscossione del pedaggio per i parcheggi pubblici.

Segnalazione continua dei posti occupati, quindi migliore utilizzo dei parcheggi misti (pubblico e residenti), e possibilità di gestione telematica con prenotazione a distanza del posto auto.

Maggiore comodità e velocità del deposito e prelievo di un'auto. L'impianto può essere dimensionato anche per flussi elevati, eventualmente aumentando il numero degli elevatori e quindi di entrate/uscite e dei carrelli.

VALUTAZIONE INDICATIVA DELLA DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEI COSTI PER I DUE TIPI DI IMPIANTO

	TRADIZIONALE	MECCANIZZATO
COSTRUZIONE		
Opere civili		
Diaframmi	20	15
Scavi	10	7
Opere di cemento armato	43	32
Finiture	15	6
Impianti		
Illuminazione, antincendio, ascensori, controllo accessi	12	8
Sistema movimentazione auto		25
Totale	100	93
GESTIONE		
Personale	70	50
Elettricità	18	14
Manutenzione (*)	3	12
Pulizie	3	1
Assicurazioni	6	4
Totale	100	81

(*) Sono previsti 12 o più controlli annui di manutenzione per l'impianto automatizzato.

Figura 35- Confronto dei costi tra parcheggi automatici e normali

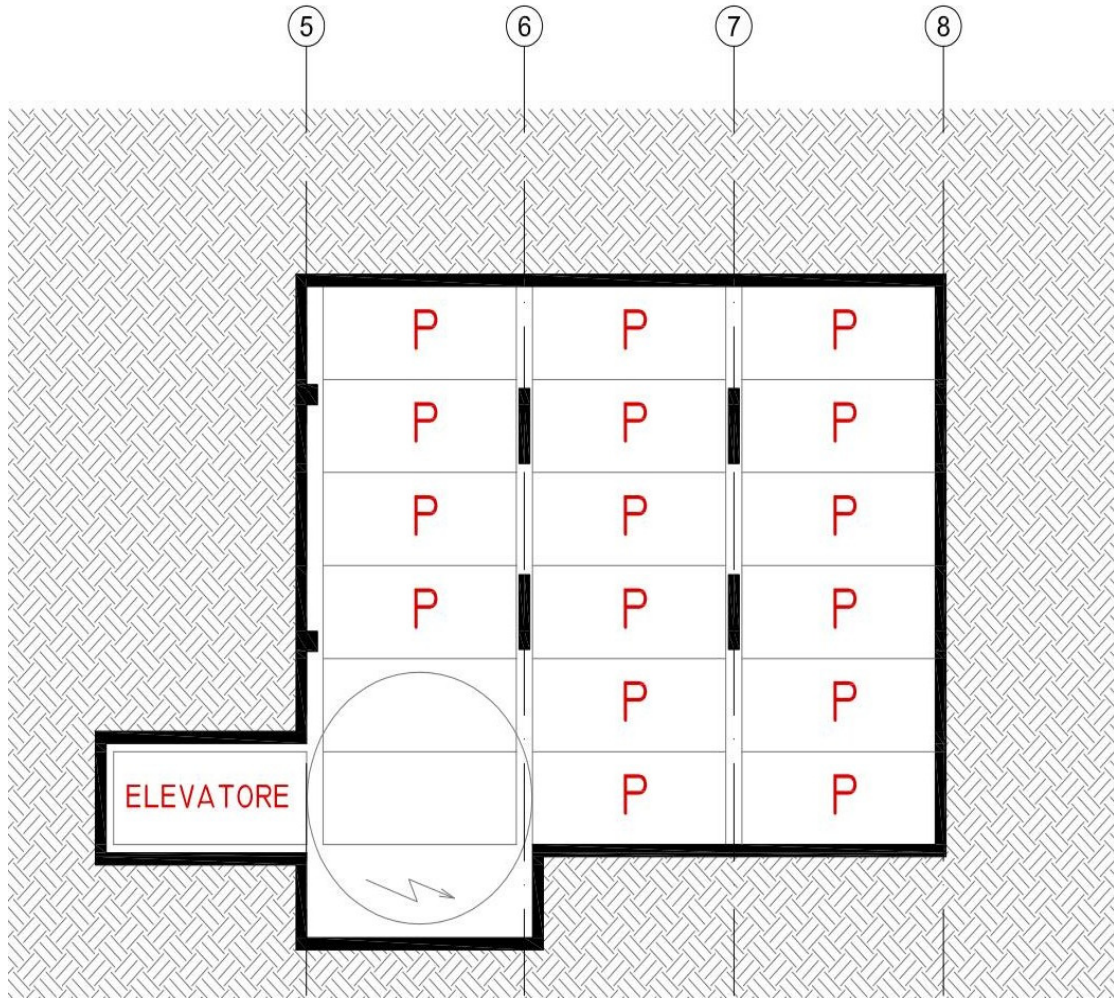


Figura 36 - Pianta del parcheggio meccanizzato

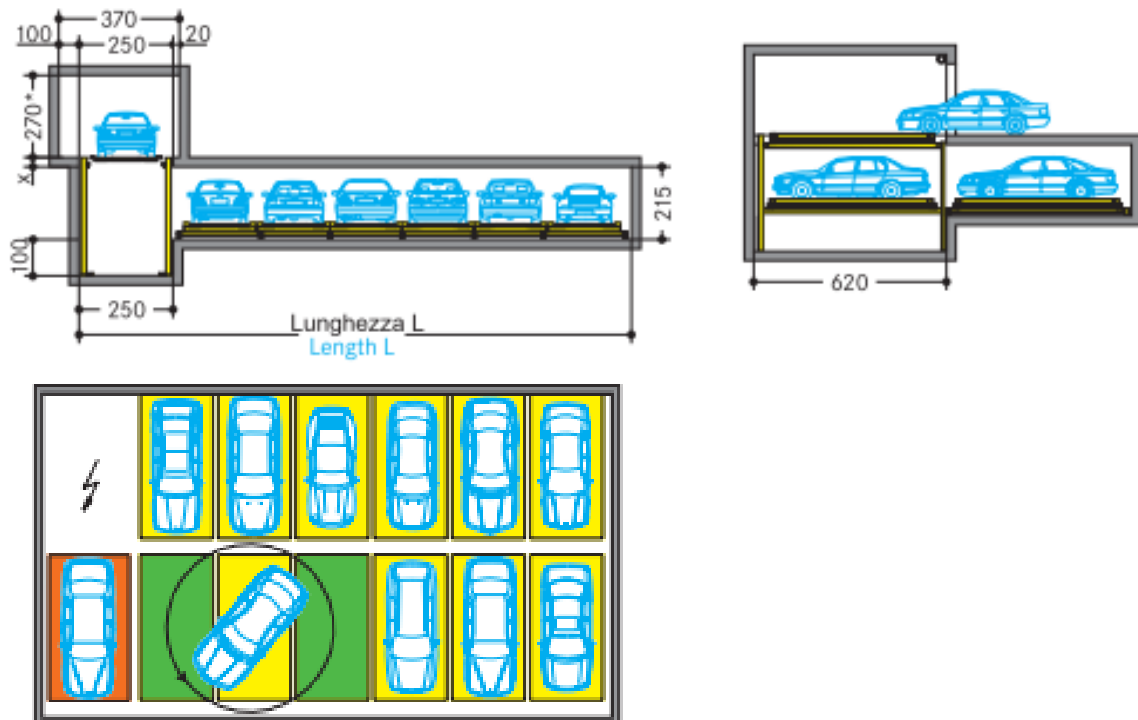


Figura 37 - Schemi e dimensioni tipiche di parcheggi meccanizzati

2.8.3. PIANO TERRA – ZONA DIREZIONE

Il piano terra è la prima zona di contatto tra l'esterno e gli ambienti pubblici presenti all'interno dell'edificio. A seconda delle esigenze si può far uso di uno dei quattro accessi disponibili. Quello principale, situato sul colmo della curvatura creata dalla facciata vetrata a nord-ovest, o quello secondario, collocato vicino al parcheggio meccanizzato e a pochi passi dal cancello esterno. Gli altri due ingressi sono dedicati allo store. Entrando nella reception si è accolti in un ambiente a doppia altezza, da cui è possibile scorgere i locali al primo piano attraverso le vetrate che fanno da parapetto. Questa è la zona di accoglienza, dove viene collocata l'accettazione insieme a un angolo di primo ascolto dedicato alla clientela. Al centro dell'ambiente, accostata al muro retrostante e circondata da un piccolo giardinetto, è collocata la grande scalinata in acciaio, di importanza scenica, che porta ai piani superiori. Per rispondere ai requisiti di accessibilità è presente anche un ascensore in acciaio e vetro subito accanto al banco d'accettazione. La presenza del verde è un motivo ricorrente in tutto l'edificio, sia all'interno che all'esterno; esso contribuisce a rendere gli ambienti più vivibili e naturali, consentendo un stretto approccio visivo con la natura in tutti gli spazi comuni. Questa zona è completamente vetrata e consente una visuale a 180° che parte dal giardino esterno, prosegue sull'ingresso principale e termina con l'edificio accanto, per creare una sensazione di continuità dell'interno con l'esterno. In posizione defilata sono presenti i servizi igienici, mentre dalla reception si può scorgere lo store attraverso la vetrata retrostante. Proseguendo il percorso esterno, si arriva agli ingressi dello store, un ambiente di circa 600m² che ospita le collezioni Greda in vendita al pubblico. Peculiarità di questo ambiente è il grande giardino interno, illuminato dall'importante lucernario presente in copertura. La profondità del terreno di cultura consente la piantumazione di alberi a medio fusto e piante ornamentali. Da qui la vista si spinge fino al terzo piano. Il negozio è dotato di tutti gli spazi necessari alla vendita, camerini e servizi igienici, appoggiandosi al magazzino per quanto riguarda l'approvvigionamento dei capi. La facciata è trasparente per quanto riguarda la maggior parte del prospetto nord-est (quello prospiciente il giardino esterno), mentre il prospetto sud-ovest presenta solamente alcune aperture di minore importanza, visto la scarsa importanza della vista di cui si può godere da quella prospettiva (è la parte dove sono collocati gli impianti della ditta accanto). Nella parte terminale sono collocati i locali accessori. Il locale impianti, di 70m², è accessibile sia dall'esterno che dal magazzino ed ospita i macchinari per il trattamento dell'aria e dell'acqua. Nello spazio restante viene inserito il locale spazzatura, dove vengono raccolti e differenziati tutti i rifiuti dell'edificio, ad eccezione di quelli ingombranti o speciali che necessitano di uno smaltimento dedicato. Anche questo locale comunica sia con l'esterno che con gli ambienti interni circostanti. Il vano scale che collega il magazzino ai piani superiori ospita anche un ascensore dimensionato per il trasporto di porta-abiti.

2.8.4. PIANO TERRA – ZONA PRODUZIONE

Sul lato opposto alla direzione prende posto la zona produttiva, un grande ambiente adibito a magazzino per lo stoccaggio delle merci con delle zone dedicate alla lavorazione sartoriale. Queste aree sono state predisposte per ospitare i lavoratori addetti alla produzione del campionario, quindi la funzione produttiva dell'edificio in senso stretto è da intendersi come il lavoro necessario alla creazione dei prototipi di capi d'abbigliamento, delle nuove collezioni e dei lavori di puntino. Non esiste infatti una zona dedicata alla produzione pesante o in serie in quanto, come da spiegazioni ricevute dai responsabili aziendali, esse sono dislocate in altre parti del territorio. La zona produttiva quindi è da intendersi come un laboratorio creativo, dove le idee di stilisti e designer prendono forma per poi essere esposte nello showroom o usate per le sfilate. Sono presenti quindi macchine da cucito ed attrezzi atti all'uso. Questa parte è collocata nella zona in basso a sinistra del magazzino, questo perché rimane efficacemente collegata sia alla zona uffici, sia alla zona imballaggio. Infatti esiste un'altra parte dedicata esclusivamente al confezionamento e alla spedizione dei capi. La maglia strutturale è più larga di quella usate per la parte direttiva, questo per consentire maggiore comodità negli spostamenti con i muletti e nella collocazione delle scaffalature. Nella parte anteriore, accostata alla parete sud, si trovano i locali accessori. Il magazzino infatti è dotato di due ampi spogliatoi, dove è possibile servirsi di docce e armadietti, pensati per permettere ai dipendenti di lavarsi e cambiarsi direttamente sul luogo di lavoro. È anche presente un piccolo ufficio amministrativo, per la gestione degli ordini e delle consegne, dotato di una saletta di attesa per gli autotrasportatori o i clienti di passaggio. Infine è presente anche un'area relax, da intendersi come zona pranzo e pausa, dove è possibile riscaldare e consumare i propri pasti senza dover uscire dall'edificio, limitando le perdite di tempo e l'inquinamento generato dagli spostamenti in auto, resi obbligatori dall'assenza di mense nelle immediate vicinanze. Da questo locale sale la rampa di scale che conduce all'appartamento del custode. La presenza di questi locali in una zona lavorativa serve a rendere più gradevole il posto di lavoro, in quanto migliora la produttività e il morale dei dipendenti, più di quanto non farebbe un semplice ed austero capannone. L'illuminazione è garantita in ogni punto del magazzino grazie alle numerose aperture in facciata, dotate di schermature apribili, collocate soprattutto nella parete sud dove avvengono le lavorazioni di precisione. Il grande lucernario presente al centro del magazzino è fonte di luce zenitale durante tutta la giornata; la luce viene filtrata grazie alla presenza delle celle fotovoltaiche che aiutano ad ombreggiare l'interno. La caratteristica principale della facciata di ingresso all'area produttiva è la completa trasparenza: una grande vetrata consente di vedere dall'esterno tutto quello che succede all'interno, a garanzia di un processo produttivo corretto e trasparente dall'inizio alla fine. La parte esterna viene valorizzata soprattutto dalla grande copertura a sbalzo, che crea un interessante punto di riferimento per chi osserva lo stabile dall'esterno. Questa "visiera" è utile come schermatura nelle ore in cui il sole è alto nel cielo e come riparo durante le operazioni di carico-scarico dei camion nei giorni piovosi, evitando l'ingresso dei mezzi direttamente nell'edificio.

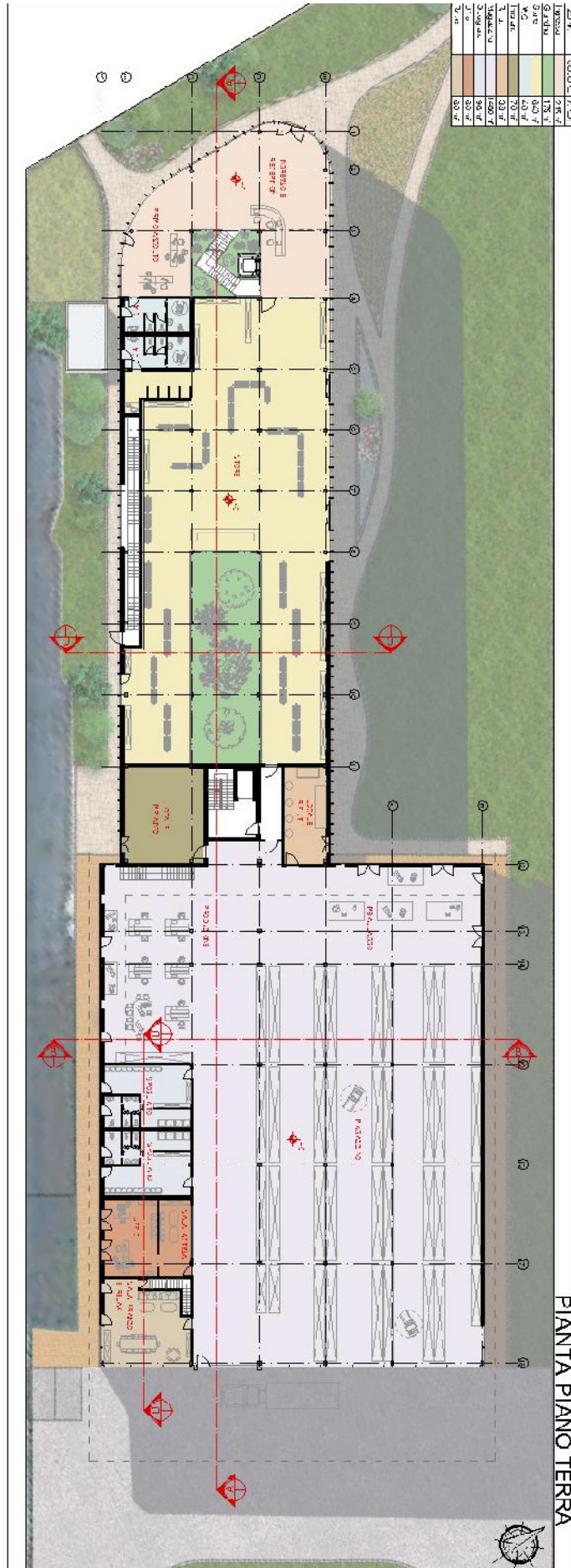


Figura 38 - Pianta piano terra

2.8.5. PRIMO PIANO – ZONA DIREZIONE

Percorrendo la grande scala collocata al piano terra si arriva al primo piano. Il primo ambiente in cui ci si imbatte è lo showroom, una tappa volutamente obbligatoria. In questo spazio di 130m² sono collocati gli abiti delle nuove collezioni, i capi storici, il campionario e tutto ciò che ha contribuito a rendere la Greda quello che è oggi, come in una sorta di museo, dove si mischiano pezzi di storia agli ultimi ritrovati nel campo della moda. Una parte dello showroom è sospesa sulla zona reception sottostante, per cui da qui è possibile dominare tutto l'ingresso da posizione privilegiata, come anche tutto il paesaggio circostante grazie alla vetrata continua. Dopo essere passati attraverso lo showroom si accede alla zona eventi, un'area di 500m² pensata per ospitare eventi mondani, riunioni e convegni. Lo spazio è molto dinamico e gestibile dato che appare come un grande open space, come le più classiche sale da ricevimento. La peculiarità di questo ambiente è sicuramente la passerella, collocata al centro della sala e addossata alle vetrate, da cui si può scorgere il giardino al piano terra e gli uffici al piano superiore, nonché il lucernario. La passerella può essere sfruttata durante le sfilate, in cui è possibile scegliere che punto di osservazione occupare dato è visibile da tutta la zona eventi. All'evenienza può essere usata invece come palco. Come al piano terra, la parete maggiormente vetrata è quella che guarda verso nord-est, sul giardino e sul paesaggio circostante, mentre la parete opposta rimane principalmente opaca. La dualità showroom-zona eventi crea un ambiente elegante e raffinato, che ricopre perfettamente il suo ruolo. Se continuiamo verso il fondo si entra invece nella zona produttiva, ma non per andare in magazzino, bensì per percorrere una balconata da cui è possibile vedere tutta l'organizzazione dell'ambiente sottostante, dal laboratorio all'imballaggio, dallo stoccaggio alla parete vetrata. La balconata conduce ad una zona piuttosto ampia in cui ci si può fermare a discutere con i clienti, oppure durante le visite guidate per commentare adeguatamente le varie zone. Per concludere, il camerino: esso è collocato a ridosso del corpo scala e dietro alla passerella. La sua posizione consente alle modelle di arrivare in questo locale senza dover passare dalla zona eventi e di organizzare il trasporto degli abiti dal magazzino senza interferire con il pubblico.

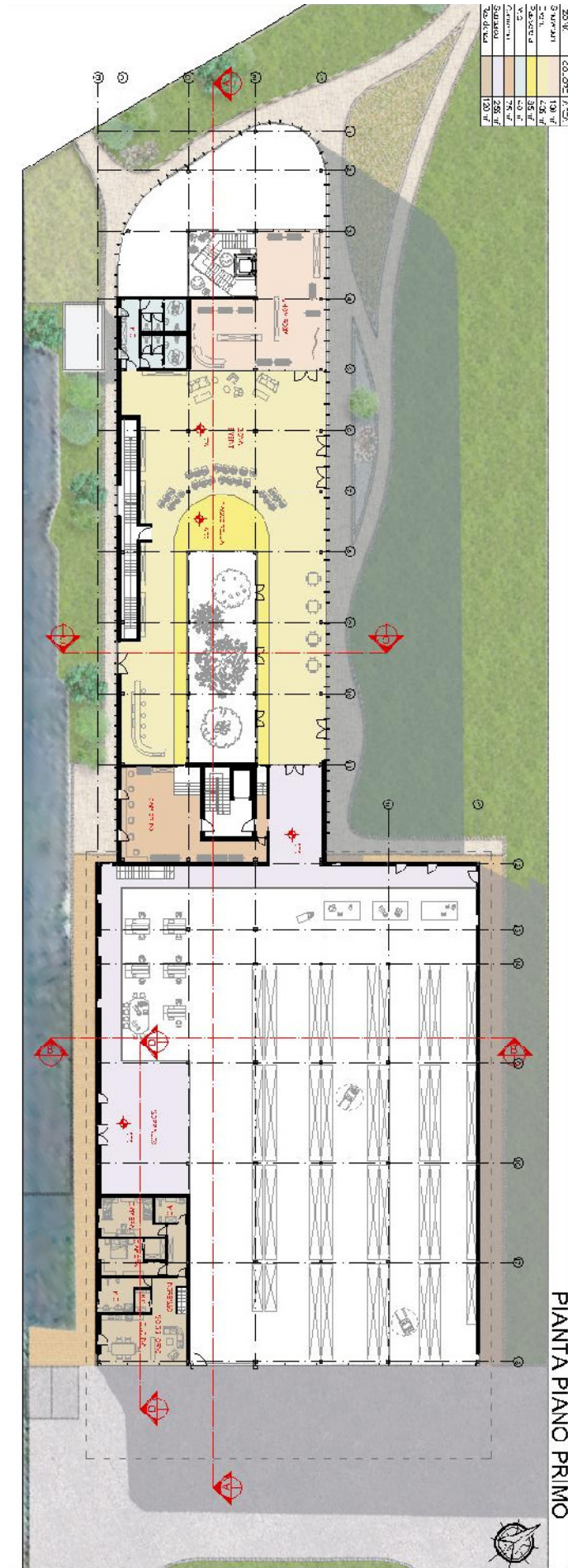


Figura 39 - Pianta piano primo

2.8.6. PRIMO PIANO – ZONA PRODUZIONE

Entrando dall'accesso laterale del magazzino e salendo le scale che partono dalla zona relax si arriva all'appartamento del custode. Questo ambiente, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, viene trattato in maniera importante, visto che è l'unica zona dell'edificio che ospiterà delle persone giorno e notte e quindi dovrà rispondere ai requisiti di comfort di richiesti da qualsiasi appartamento in zona residenziale. La scala ha il suo sbocco nel soggiorno. Da qui ci si può dirigere verso il ripostiglio e poi verso il bagno principale, con affaccio verso sud, oppure in cucina. Non esistono separazioni rigide tra zona soggiorno e sala da pranzo, l'ambiente è unico e dà la sensazione di essere più grande di quanto sia realmente. La zona notte invece è collocata alle spalle delle scale, dove un corridoio conduce alla due camere da letto (una matrimoniale con cabina armadio e una stanza doppia) e al bagno secondario. Anche le camere hanno affaccio verso sud, mentre il bagno piccolo non avendo finestre che danno sull'esterno sarà trattato solo con ventilazione forzata. La zona giorno si affaccia sull'esterno mediante la stessa vetrata che c'è al piano terra del magazzino, quindi risulta totalmente trasparente. Dalla sala inoltre è possibile controllare il magazzino attraverso una finestra a nastro, permettendo al custode di compiere il suo lavoro anche senza scendere al piano terra. I metri quadri calpestabili per il trilocale sono circa 120, leggermente meno di quelli massimi previsti dalla zonizzazione comunale.



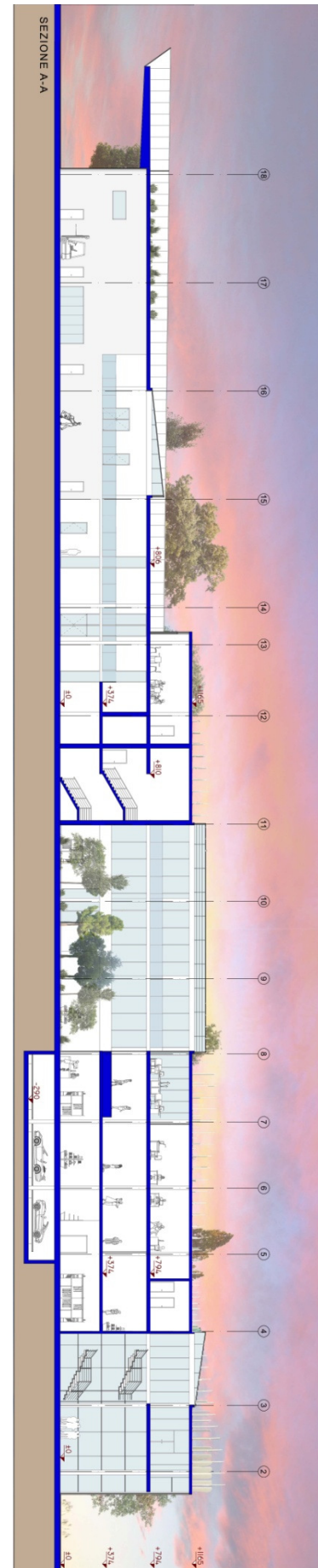
Figura 40 - Pianta architettonica appartamento

2.8.7. SECONDO PIANO – ZONA DIREZIONE

Terminando la salita della scalinata principale si arriva nella zona uffici. Anche qui la prima zona è quella dell'accoglienza, quindi il centralino e la reception. Da qui i clienti possono essere accompagnati direttamente all'ufficio desiderato oppure lasciati in attesa nella living room. La zona living è separata dagli uffici per garantire uno spazio più tranquillo e silenzioso, dotato di divani e poltrone per assicurare il massimo comfort durante l'attesa. Anche la vista che si gode da questa posizione è particolarmente suggestiva, infatti come nelle zone sottostanti la vetrata permette un'ampia visuale, aiutata ulteriormente dall'altezza che permette di vedere ancora più lontano. Da qui si arriva anche alla sala riunioni, che gode degli stessi privilegi visivi della zona living, diventando però un ambiente più chiuso e privato. La collocazione nel punto più panoramico dell'edificio è sicuramente un punto di forza di questa sala, che unisce privacy e bellezza architettonica in un unico ambiente. Sempre partendo dalle scale e proseguendo verso destra si entra nell'open space dove trovano posto varie postazioni di lavoro, che all'evenienza possono essere riorganizzate per lavori in gruppo, come previsto dal bando di concorso. Le uniche aree chiuse sono l'archivio, dove trovano spazio anche i book fotografici e la documentazione cartacea, e i servizi igienici. Al centro dell'ambiente, in posizione dominante, sono collocati i due uffici presidenziali, chiusi ma trasparenti. Come nel piano sottostante, dagli uffici si può guardare il giardino dello store e la zona eventi. A questo piano è anche presente un giardino interno, coperto da una serra vetrata che costituisce parte del lucernario, fruibile da parte dei dipendenti durante tutto l'anno senza dover uscire dall'edificio. L'esposizione a sud consente di sfruttarla a nostro vantaggio grazie ai guadagni solari che ne derivano durante l'anno. La visibilità sull'esterno è garantita dalla trasparenza della facciata nord-est completamente vetrata, in maniera simile ai piani inferiori. Sul finire del piano uffici sono presenti altri ambienti di particolare importanza; il primo è la sala da pranzo dotata di cucina, utilizzabile come la sala relax già presente nel magazzino ma anche come zona per rinfreschi durante gli eventi estivi che possono essere organizzati sul tetto giardino. La vista sulla copertura verde costituisce un elemento di elevato pregio per questo ambiente che risulta essere tra i più belli dell'edificio. Collegata all'area relax trova spazio un ambiente molto privato: la spa. Nata da una chiara volontà espressa da parte dei proprietari dell'azienda, è pensata per accogliere un ristretto numero di persone, infatti i due spogliatoi e i servizi sono pensati per un massimo di 4-5 persone in contemporanea. Questa zona costituirà un angolo dedicato esclusivamente alla dirigenza e qualche facoltoso cliente, una zona esclusiva dotata di sauna, bagno turco e vasca idromassaggio, nonché una piattaforma rialzata affacciata sull'esterno da utilizzare come solarium. La vista verso il giardino interno è protetta da vetri riflettenti per garantire la privacy degli ospiti senza privarli della piacevole vista del verde. Il tetto verde diventa uno spazio fruibile durante i mesi più caldi; l'esterno è dotato di una pavimentazione flottante in doghe di legno che può ospitare eventi e riunioni, confinante con il manto erboso percorribile a piedi. Il grande lucernario fotovoltaico al centro del giardino permette di sottolineare il rispetto dell'azienda verso la bioedilizia, lasciando intravedere anche il magazzino sottostante.

2.9. SEZIONI E PROSPETTI

Osservando la sezione AA si notano subito alcune particolarità rispetto lo sviluppo del nostro edificio. Innanzitutto l'ingresso a doppia altezza, con la grande scala in acciaio posta al centro dell'ingresso che invita a salire ai piani superiori. In cima alla scala si trova un grande lucernario, che illumina tutta la colonna sottostante. Il grande giardino, posto nello store, spicca per importanza al centro della sezione. Sopra di esso un altro grande lucernario esposto a sud ovest contribuisce a creare insieme al giardino del secondo piano una grande serra naturale, che favorisce i guadagni solari nel periodo invernale, mentre nel periodo estivo sfruttandone le aperture è possibile ventilare gli ambienti sfruttando l'effetto camino. Al di sotto dello store vediamo il parcheggio meccanizzato, caratterizzato dall'altezza contenuta. Il magazzino è circondato dal soppalco, che domina la zona produzione e imballaggio garantendo la vista su ogni zona. Il terzo lucernario, dotato di celle fotovoltaiche, aiuta ad illuminare il magazzino mantenendo allo stesso tempo un certo grado di ombreggiamento. La sezione termina con la grande copertura a sbalzo e la vetrata continua sottostante.



La sezione BB illustra il posizionamento e il distanziamento della scaffalatura, con i relativi sistemi di movimentazione. La scala che si vede sul fondo collega il soppalco alla zona produttiva, ed è utilizzabile anche in caso di incendio come percorso verso le uscite di sicurezza presenti al piano terra.

Le restanti sezioni sono fatte per comprendere meglio il funzionamento del giardino a piano terra e per la disposizione delle stanze nell'appartamento.

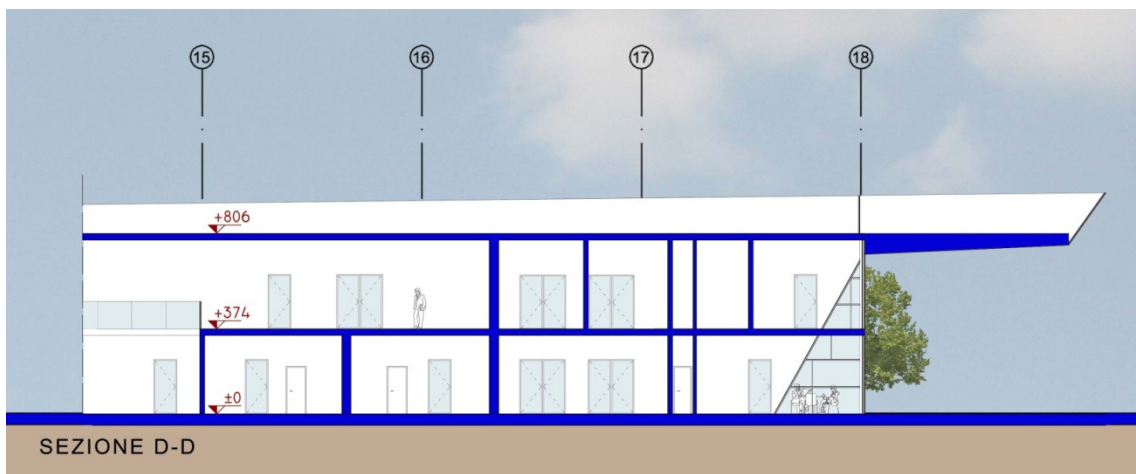
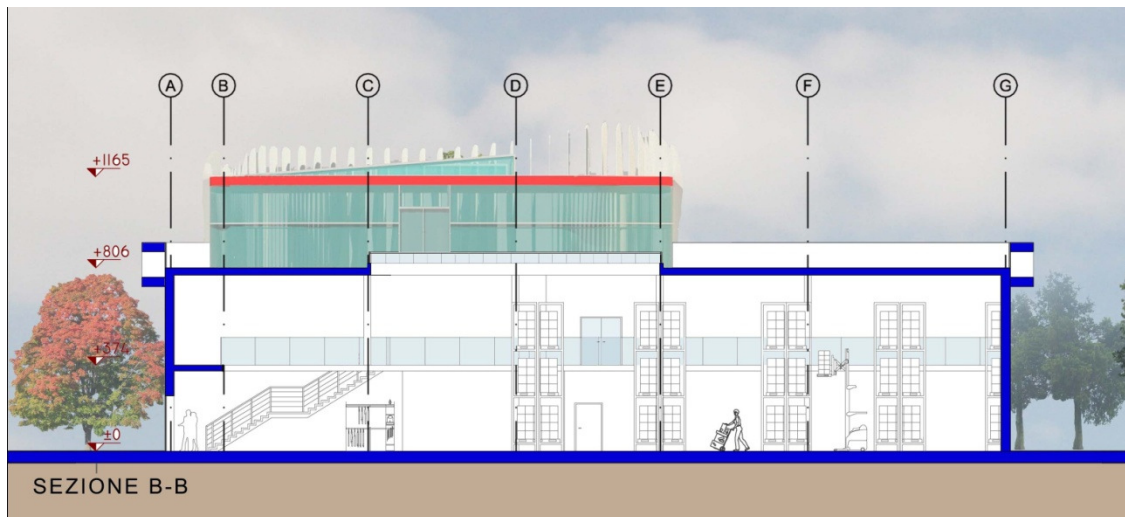
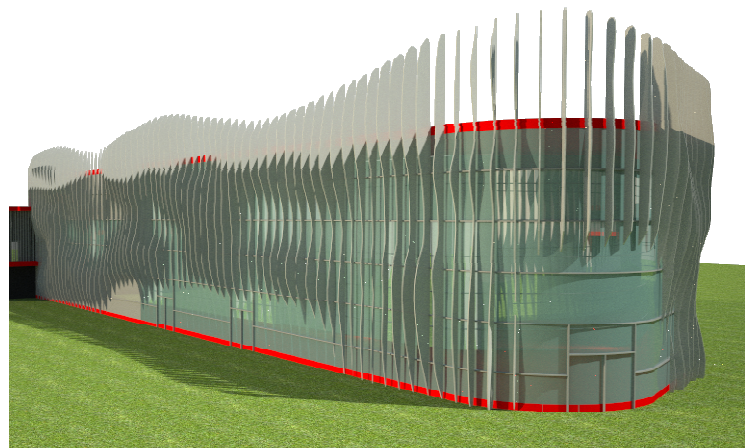
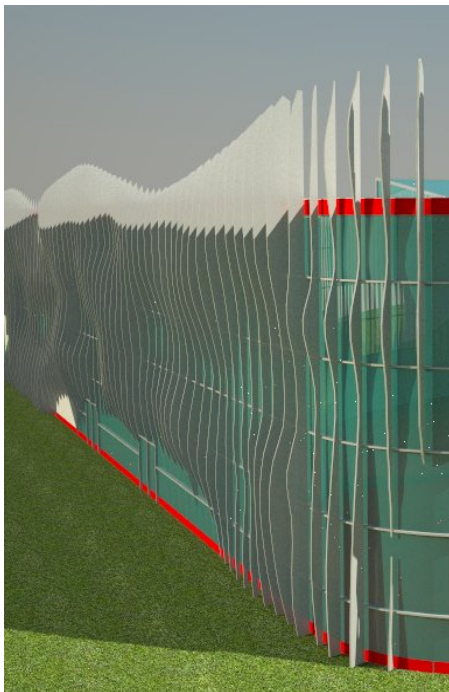
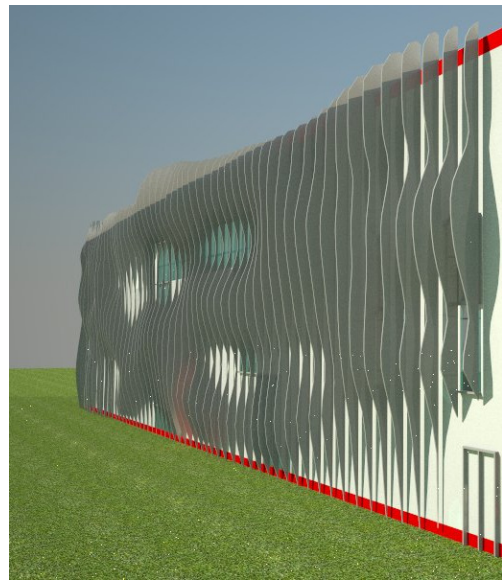
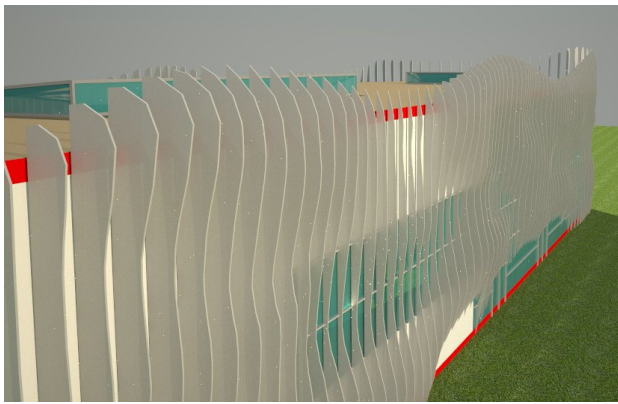


Figura 42 - Sezioni BB CC DD

I prospetti sono stati pensati soprattutto in chiave di visibilità aziendale: la possibilità per un'impresa di farsi notare da chi percorre l'autostrada è sicuramente da sfruttare. Dato che il fronte perpendicolare alla direzione di percorrenza è il più stretto, abbiamo deciso di puntare molto sul prospetto maggiore, orientato verso nord est, che rimane comunque abbastanza visibile. La zona direttiva è circondata interamente da un sistema di lame verticali in legno lamellare ricoperte da un sottile strato di alluminio. Ognuna di queste lame, poste ad un metro di distanza l'una dall'altra, ha un profilo irregolare ed ondeggiante. L'effetto visivo che crea questa disposizione è molto interessante e richiama le pieghe che il tessuto assume avvolgendo un oggetto, in questo caso il nostro edificio. Il materiale riflettente dà vita a giochi di luce variabili a seconda del momento della giornata. Le immagini che vediamo qui sotto sono render schematici che aiutano a capire l'effetto che queste lame provocano in facciata.



dato dai frangisole

Al di sotto delle lame si nota la facciata trasparente, che sembra fondersi con quella opaca grazie ai pannelli in acciaio porcellanato di colore bianco. Questo risultato serve a dare una background omogeneo al blocco direttivo, per fare in modo che l'attenzione si focalizzi sulle onde che lo ricoprono. Per quanto riguarda il magazzino invece si è scelto di usare una strategia di contrasto cromatico. La pannellatura in lamiera grecata e forata, di colore nero lucido, si contrappone al candore del blocco direttivo. In questo caso abbiamo deciso di creare una facciata dall'apparenza monolitica, più che movimentata. Le aperture su questo fronte sembrano non esistere, invece sono solamente nascoste dietro ai pannelli forati, che in corrispondenza delle finestre divengono apribili come degli scuri. In questo modo è possibile filtrare la luce esterna a piacimento ed allo stesso tempo disporre di un enorme "parete pubblicitaria" che viene sfruttata per sfoggiare il marchio dell'azienda in modo che sia ben visibile dall'autostrada. L'elemento che contribuisce a legare le due zone è rappresentato da uno spesso "nastro rosso" che, percorrendo tutto il perimetro di magazzino e direzione e abbracciandone i prospetti, dona continuità al complesso. Questo nastro sottolinea e valorizza la copertura a sbalzo, ricalcandone il profilo e facendola sembrare ancora più slanciata. La pannellatura in acciaio compresa tra i due nastri rossi torna ad essere bianca come nel corpo direttivo.



Figura 44 – Prospetti Nord-Est e Sud-Ovest

Le due bande rosse terminano verticalmente nella zona di contatto tra i due blocchi, tracciando una spaccatura vetrata che alleggerisce la zona di transizione tra i due corpi. Anche in questo caso l'uso del colore rosso è usato per focalizzare l'attenzione sui particolari, sfruttando proprio il contrasto coi colori di sfondo. Il prospetto sud ovest presenta le stesse particolarità ma viene trattato in maniera più funzionale. Dietro questa facciata si trovano infatti gli ambienti di servizio, come i bagni, il camerino, il locale macchine e la scala di sicurezza per quanto riguarda il blocco direzione. Nel magazzino invece troviamo la zona produttiva, gli spogliatoi, gli uffici amministrativi e l'appartamento. La vista che si gode in questa direzione è di minore qualità rispetto quella a nord che domina il giardino, infatti la presenza della ditta confinante ostacola la libera visuale. Il fatto di avere locali esposti a sud ovest ci consente di sfruttare i guadagni solari nel periodo invernale dovuti all'orientamento, che in questo caso divengono piuttosto importanti dal momento che il magazzino verrà riscaldato solo per i primi tre metri di altezza. Questo tende a rendere più confortevoli i locali maggiormente sfruttati del magazzino, compreso l'appartamento del custode al piano rialzato. Non dimentichiamo la presenza della serra al secondo piano degli uffici, che può essere usata in inverno come fonte di aria calda, o come camino per la ventilazione naturale degli ambienti nel periodo estivo.



Figura 45 - Prospetto Sud-Est

Per beneficiare al massimo del contributo della luce naturale abbiamo collocato tre grandi vetrate verticali nelle aree dove le lavorazioni richiedono maggior precisione, ossia la zona cucitura presente nell'area produttiva. Il lato corto del magazzino, esposto a sud est, diviene la vetrina dell'azienda: una parete completamente vetrata permette di vedere completamente l'interno del magazzino e lavorazioni che vi si svolgono, a testimonianza di un approccio diretto e trasparente tra produttore e consumatore. La copertura a sbalzo provvede all'ombreggiamento di questa facciata nei periodi più caldi. L'uso dei vetri selettivi su questa vetrata serve a limitare gli apporti estivi, soprattutto nelle ore dove il sole è basso all'orizzonte. Concludiamo con il prospetto nord ovest, dove trovano posto i due ingressi principali, ricavati "scavando" le onde presenti in facciata.



Figura 46 - Prospetto Nord-Est

Anche sulla facciata del magazzino in questa direzione è presente una grande scritta che riporta il logo aziendale, in modo da riuscire a garantire la vista del marchio da più angolazioni anche durante la percorrenza dell'autostrada. Dietro questa parete è presente l'area di imballaggio merci, ed anche in questo caso le pannellature diventano apribili per garantire maggiore luminosità al locale e assicurare che i lavoratori abbiano una visuale di qualità sul giardino esterno.

2.10. USO DEL COLORE IN ARCHITETTURA

Per comprendere meglio le scelte cromatiche che caratterizzano il nostro progetto, ci occuperemo brevemente del significato dei vari colori in architettura. L'utilizzo dei colori infatti individua e definisce un oggetto o uno spazio e spesso è un elemento sostanziale per lo sviluppo del progetto architettonico. L'esposizione ad un tipo di colore rispetto ad un altro non solo interviene sulla percezione formale ma anche a livello psicologico diretto attraverso reazioni fisiche specifiche. L'esposizione a colori caldi ad esempio (come il rosso e l'arancio) accelera la circolazione sanguigna mentre i toni freddi come l'azzurro ed il verde tendono a rallentarla. E poi ci sono le esperienze sensoriali più piene che possono conferire attraverso i toni scuri maggiori tensioni, senso di chiusura, mentre i toni chiari, purchè non accecanti, danno sensazioni di leggerezza, igiene e accoglienza. Per quanto riguarda l'opera architettonica, che è destinata a durare per molto tempo e caratterizzare il territorio in maniera decisiva, il ruolo del colore è fondamentale non solo come funzione ornamentale ma anche in funzione della composizione architettonica stessa e della percezione degli elementi.

Dal punto di vista della godibilità estetica, il colore non può essere considerato senza tenere conto della luce, che deve essere sapientemente studiata nei suoi aspetti naturali. Il grado di luminosità di un ambiente o di un elemento crea valori volumetrici e spaziali e influisce sul senso di profondità: il colore più chiaro tende ad avanzare mentre il colore più scuro rimane sul fondo. La direzione della luce e degli elementi varia la percezione perchè la direzione orizzontale sottolinea il peso e la vastità dello spazio mentre l'andamento verticale esprime l'assenza di peso e la profondità. Queste proprietà possono essere sfruttate nella definizione degli ambienti che possono essere slanciati se troppo piccoli evitando frazionamenti orizzontali; se la stanza è troppo lunga e stretta bisogna colorare con toni freddi e chiari le superfici vicine mentre le superfici lontane con toni caldi per dare l'effetto del riavvicinamento.

Uno dei primi teorici riguardanti l'utilizzo del colore a seconda degli ambienti fu **Rudolf Steiner** (1861–1925, filosofo, esoterista e pedagogista). Egli aprì la sua prima scuola a Stoccarda nel 1919, dove applicò i suoi studi degli effetti dei colori sulle persone. Steiner elaborò una serie di tavole cromatiche che riassumevano l'uso dei diversi colori a seconda degli ambienti, delle destinazioni d'uso e dal tipo di occupanti, in particolare a seconda della fascia d'età. Per bambini in prima fascia scolastica, il colore ROSA



Figura 47 - Rudolf Steiner



Figura 48 - Una tavola dei colori di Steiner

favorisce il processo di guarigione. Per gli ospedali psichiatrici, alcuni colori mirati, come le tonalità del blu, hanno dato dei risultati molto lusinghieri nel miglioramento della terapia applicata. Sempre a livello ospedaliero si potrebbe prospettare l'utilizzo di specifici colori per pazienti con patologie diverse, ad esempio un paziente apatico, potrebbe avere un beneficio dalla permanenza in una stanza color rosa pallido, mentre uno nervoso potrebbe trarre giovamento dal turchese e uno irrequieto dal blu. Nelle fabbriche e negli uffici, vengono progettati spazi e cromie specifici per le varie attività lavorative. Il colore verde aiuta il personale ad essere più tollerante al rumore, mentre il blu è efficace per rendere più fresco un ambiente di lavoro troppo caldo. Dipingere di rosso dei particolari dell'architettura di un locale, aiuta a mantenere attive e vigili le persone che vi lavorano. I colori chiari, usati di solito nelle abitazioni, hanno effetti analoghi alle tonalità decisamente vivaci, ma l'aggiunta del bianco ne attenua l'effetto. Ad esempio, un blu intenso fa rilassare quasi al punto da conciliare il sonno, mentre un celeste ha un effetto rilassante più blando. Un rosso intenso è troppo eccitante e quindi tende a stancare, mentre un rosa ha un effetto solo leggermente stimolante e aumenta la vigilanza. Molta attenzione va riservata all'illuminazione, che può alterare gli effetti dei colori, le lampade ad incandescenza rendono una luce giallastra, mentre quelle a fluorescenza tendono al blu.

favorisce un coinvolgimento emotivo e fisico per le attività in classe. Per le aule di ragazzi preadolescenti 11 - 12 anni le aule dovrebbero avere tonalità verso il GIALLO, per i seguenti anni scolastici sulle tonalità delicate del VERDE, per consentire ai discenti più equilibrio dei loro pensieri e formulazioni di giudizi ponderati. Negli ospedali vengono utilizzati parametri cromatici che possono

2.10.1. SIGNIFICATO ED EFFETTI DEI COLORI

In questa tabella sono riportati i risultati degli studi sugli effetti dei colori nell'uomo. Come colori puri, qualsiasi aggiunta di bianco o nero, fa variare l'impatto, ma non lo annulla completamente, "rendendo più blando l'effetto".

ROSSO: Provoca eccitazione e spinge verso l'attività, denota un senso di forza e di sicurezza. La scelta del rosso corrisponde ad uno stato d'attivazione, ad uno slancio diretto verso la conquista, ad un desiderio ardente ed in espansione. E' un colore stimolante, vigoroso, rinvigorisce che attira l'attenzione divenendo centrale rispetto al contesto; è anche il colore che può muoversi più rapidamente trattenendo legato a sé lo sguardo.

ARANCIONE: Colore solare per eccellenza appartiene alle persone simpatiche, stimola la vitalità e l'assimilazione del "prana"

GIALLO: rimanda alla radiosità che risveglia e dà calore. Suscitando una sensazione d'espansione e spingendo al movimento, il giallo corrisponde ad una condizione di libertà e autosviluppo. Infatti, è il colore dell'illuminazione e della redenzione.

VERDE: Dona sensazioni di solidità, stabilità, forza e costanza ed un comportamento caratterizzato dalla perseveranza. L'energia del verde è un'energia potenziale raccolta in se stessa che denota una tensione interiore. L'effetto di stabilità prodotto dal verde rappresenta, da un punto di vista psicologico, i valori saldi che non mutano. Il verde è il colore della vegetazione, della natura e della vita stessa. Il verde, secondo gli psicologi, significa forza, perseveranza, equilibrio e stabilità.

BLU: Induce alla calma e si connota come placida e profonda soddisfazione, denota uno stato di soddisfatto adattamento. Fissando a lungo questo colore si produce un effetto di quiete, soddisfazione ed armonia. Il blu è il colore del silenzio, della calma e della tranquillità, della contemplazione e della spiritualità è associato alla forma geometrica del cerchio, simbolo dell'eterno moto dello spirito, insieme di quiete e dinamicità. In una stanza blu i battiti cardiaci diminuiscono e la sensibilità al freddo aumenta, mentre gli oggetti sembrano più piccoli e leggeri.

VIOLA: Nasce dalla mescolanza di rosso e blu, è il colore della metamorfosi, della transizione, del mistero e della magia, preferito dai bambini, dalle donne incinte e dalle personalità immature.

BIANCO: Rappresenta la ragione, il freddo, il silenzio, l'igiene, l'infanzia, la purezza e nella cultura orientale è il colore della morte e del lutto. Nasce dalla fusione dei colori primari.

NERO: Rappresenta la negazione assoluta, il "no" radicale, è la tinta dell'opposizione dietro la quale può esprimersi una rivendicazione di potere.

Abbiamo deciso di interpretare la scelta dei colori anche secondo il contrasto che nasce dall'accostamento tra loro. Infatti se l'uso del rosso come colore puro nasce dalla volontà di catturare l'attenzione in un contesto di velocità, l'accostamento tra bianco e nero viene spiegato meglio se si analizza l'effetto dell'uso delle due tonalità in abbinata.

2.10.2. I CONTRASTI CROMATICI

I colori spesso non agiscono in maniera individuale ma è possibile combinare diversamente gli effetti mediante contrasto di colori puri, di chiari e scuri, freddo e caldo, complementari, effetti di simultaneità, di qualità e di quantità.

- **Il contrasto dei colori puri** si attua mediante l'accostamento di colori primari (giallo, rosso e blu) in maniera evidente ma può essere realizzato mediante l'accostamento di colori secondari o terziari.
- **Il contrasto tra colori chiari e scuri** è uno dei più significativi e più usati, quello tra freddo e caldo riguarda la modulazione delle profondità e il contrasto dei complementari consente di conservare inalterata la luminosità e l'essenza cromatica dei due colori.
- **Il contrasto simultaneo** invece è prodotto dal nostro occhio che di fronte a qualsiasi colore vede il complementare e lo cede al colore vicino.
- **Il contrasto di qualità** si produce accostando colori puri con colori sporcati e schiariti mentre il contrasto di quantità riguarda il valori delle proporzioni della composizione cromatica.

La tecnica che abbiamo deciso di utilizzare è stata quella del contrasto tra colori chiari e scuri, per valorizzare i due volumi dell'edificio delineandone in modo netto i confini. In questo modo non si ha una mescolanza di colori, che tende ad amalgamarne la vista, ma si ha una percezione distinta e personalizzata per entrambe i corpi.

2.11. ANALISI DEI PACCHETTI TECNOLOGICI

Al momento di scegliere le diverse soluzioni per rispondere nel modo migliore possibile alle necessità dell'edificio, ci siamo serviti soprattutto del modello di calcolo energetico, sviluppato per comprendere le variazioni di costo e di consumi a seconda degli orientamenti confrontando vari tipi di pacchetti.

Le conclusioni che ne abbiamo tratto, unite ai requisiti normativi riguardanti l'acustica, l'antincendio, l'eco-compatibilità e alla nostra volontà architettonica, ci hanno permesso di capire quale fosse la strada migliore da percorrere per giungere ad un risultato ottimizzato ed allo stesso tempo gradevole per gli occupanti.

Nel seguito verranno descritte le varie stratigrafie nei diversi punti dell'edificio, analizzandone le caratteristiche e le prestazioni raggiunte dal punto di vista energetico ed acustico.

2.12. LA SCELTA DEI VETRI E DELL'ISOLANTE

2.12.1. CRITERI DI SCELTA PER I VETRI

La scelta della tipologia di vetro, per un progetto come il nostro dove le superfici trasparenti rappresentano una grossa percentuale rispetto totale delle chiusure, risulta particolarmente importante. Le necessità a cui un infisso deve rispondere sono svariate, come la tenuta all'aria e all'acqua, l'isolamento termico e acustico, il filtraggio dei raggi solari e l'efficienza energetica. Di seguito verranno illustrati alcuni parametri che è importante osservare e che influenzano la scelta del tipo di vetro in funzione del luogo di installazione, dell'orientamento e dei locali in cui ci troviamo.

2.12.2. LE VARIE TIPOLOGIE DI VETRO

Ci sono molti tipi di vetro da poter utilizzare per gli infissi, anche per la possibilità di combinare tra loro diverse tecnologie, tra cui:

- **gas di riempimento**
- **colori che assorbono calore**
- **vetri isolanti** (doppio e triplo vetro)
- **rivestimenti basso emissivi** (Low-E)
- **rivestimenti riflettenti**
- **rivestimenti spettralmente selettivi**

I **vetri isolanti** sono formati da due o più lastre di vetro e sono detti vetri doppi, tripli, ecc. Per realizzare l'isolamento termico, le lastre di vetro vengono distanziate tra loro e sigillate ermeticamente per formare un singolo corpo, con uno spazio d'aria all'interno che resiste al passaggio del flusso di calore. Il risultato è un abbassamento della trasmittanza termica U, ma anche una diminuzione dell'SHGC. Le lastre di vetro sono tenute separate mediante distanziatori, che possono più o meno influenzare la resistenza termica dell'infisso. Lo spazio tra le lastre di vetro viene riempito con dei gas particolari. Si usano gas inerti, che non reagiscono con altre sostanze. Questi gas hanno una maggiore resistenza al passaggio del flusso di calore rispetto all'aria, pertanto riducono la trasmittanza termica del vetro. I gas comunemente utilizzati dai produttori sono:

- **argon** – poco costoso, non tossico e non reattivo, chiaro e inodore;
- **krypton** – più costoso, ma con un potere di isolamento termico maggiore.

I vetri basso emissivi controllano il trasferimento di calore attraverso i vetri isolanti. Le finestre con questi rivestimenti costano di media il 10-15% in più rispetto allo standard, ma permettono di ridurre le dispersioni termiche di ben il 30-50%. Un rivestimento basso emissivo è costituito da uno strato molto sottile, quasi invisibile, di metallo o strato di ossido di metallo depositato direttamente su una o più lastre di vetro. Il rivestimento basso emissivo riduce la radiazione infrarossa da una lastra di vetro calda ad una fredda, diminuendo notevolmente la trasmittanza termica centrale del vetro e aumentando il risparmio energetico e comfort termico negli ambienti.

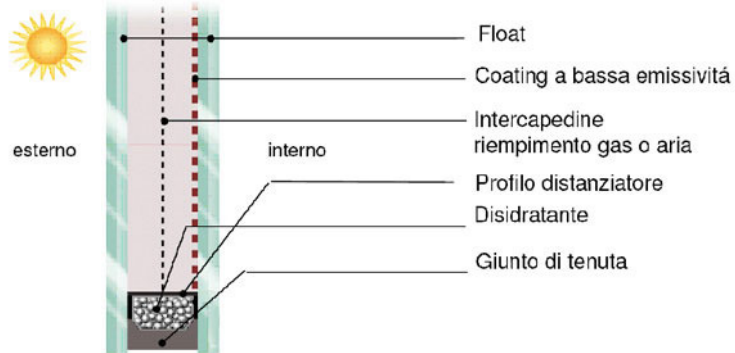


Figura 49 - Composizione di un vetro basso emissivo

I vetri spettralmente selettivi sono dei particolari rivestimenti basso emissivi che lasciano passare il 40-70% del calore normalmente trasmesso dai vetri isolanti, consentendo però un'ottima trasmissione di luce visibile. I rivestimenti spettralmente selettivi sono progettati otticamente per riflettere lunghezze d'onda particolari della luce, facendone passare delle altre. Comunemente, questi rivestimenti riflettono l'infrarosso (il calore). Essi contribuiscono a creare una finestra con una bassa trasmittanza termica e basso SHGC, ma un alto coefficiente di trasmissione di luce visibile (VT). I vetri spettralmente selettivi sono in grado di ridurre fino al 40% i consumi di energia elettrica per l'illuminazione artificiale rispetto a quelli legati ai vetri basso emissivi.

2.12.3. I PARAMETRI CHE CARATTERIZZANO UN VETRO

L'efficienza energetica di un infisso è influenzata da varie caratteristiche, tra cui ricordiamo:

- **Trasmittanza termica U:** il calore non solare che attraversa un infisso per unità di superficie e per una differenza unitaria di temperatura tra esterno e interno. Si misura in W/m^2K e può far riferimento sia al solo vetro e solo telaio che alla combinazione di entrambi.
- **Coefficiente di guadagno del calore solare (SHGC) o fattore solare (FS):** una frazione della radiazione solare che attraversa direttamente un infisso o viene prima assorbita e poi rilasciata sotto forma di calore all'interno di una casa. Più basso è il SHGC e meno calore attraverserà la finestra. Ciò aumenta la capacità di ombreggiamento del serramento. Una finestra con elevato valore di SHGC è più efficace per la captazione di energia solare durante l'inverno. Un valore basso di SHGC è più efficace per ridurre i carichi di raffrescamento durante l'estate, bloccando il calore proveniente dal sole. Il valore di SHGC ottimale per un'infisso

dovrebbe essere determinato in funzione del clima, dell'orientamento, dell'ombreggiatura esterna.

- **Permeabilità all'aria:** è la proprietà di un infisso chiuso di lasciarsi attraversare dall'aria in presenza di una differenza di pressione tra interno ed esterno. La qualità dell'infisso sarà tanto maggiore quanto minori saranno i volumi d'aria dispersi. Tale caratteristica può essere determinata con la norma tecnica UNI EN 1026 e la UNI EN 12207 che prevede una classificazione in quattro classi prestazionali (1,2,3,4); la classe 4 è la migliore.
- **trasmissione della luce visibile (VT):** una frazione dello spettro visibile della luce solare (lunghezza d'onda circa 380-720 nanometri), ponderata con la sensibilità dell'occhio umano, che viene trasmessa attraverso una finestra. Un infisso con elevato VT trasmette molta luce visibile. La trasmissione visibile è espressa come un numero compreso tra 0 e 1. Il VT necessario per una finestra dovrebbe essere determinato in base ai requisiti di luce naturale dell'edificio.
- **Rapporto luce visibile – guadagno solare (LSG):** il rapporto tra VT e SHGC. Esso fornisce un'indicazione di efficienza energetica relativa alla trasmissione di luce visibile in rapporto alla trasmissione di calore solare. Più alto è il numero, più luce visibile viene trasmessa senza aumento eccessivo di calore verso l'interno.

2.12.4. SCELTA DEI VETRI E SCHEDE TECNICHE

I tipi di vetro scelti per il nostro edificio sono vari. Abbiamo deciso di suddividere le vetrate in settori a seconda delle prestazioni visive e termiche richieste. Per quanto riguarda il corpo direttivo abbiamo una grossa fascia vetrata che avvolge il prospetto, esposta a vari orientamenti. Dato che la maggior parte di essa si trova a nord-nord/est la scelta è ricaduta su un vetro triplo basso emissivo, che assicura una bassa trasmissione e un'alta trasparenza, ad eccezione della zona del giardino interno al secondo piano, in questo caso è stato preferito un vetro doppio basso emissivo. Per quanto riguarda i lucernari della zona direttiva anche in questo caso è stato utilizzato un vetro doppio basso emissivo, mentre per il lucernario del magazzino è stata usata una vetrata fotovoltaica composta da vetro extrachiaro+celle fotovoltaiche+vetro float. Anche per i serramenti presenti sui lati lunghi del magazzino è stato scelto un vetro doppio basso emissivo, vista anche la presenza del pannello forato che funge da schermo davanti ad essi. Le due vetrate esposte a sud-est invece (quella del magazzino e quella del secondo piano della zona direttiva che dà sul tetto giardino) sono state trattate con un vetro selettivo, a causa della scarsa presenza di ombreggiamenti durante il periodo estivo che potrebbero causare un'eccessiva surriscaldamento delle facciate. Nel caso del magazzino è stato usato un vetro doppio, visto la volumetria dell'ambiente e il diverso trattamento termico riservato, mentre per la vetrata del secondo piano è stato scelto un vetro triplo. Riassumendo:

CORPO DIRETTIVO IN FACCIATA: Triplo B.E: Pilkington Optitherm S3 OW

SERRA: Doppio B.E: Pilkington Optitherm S3 OW

VETRATA S-E SU TETTO GIARDINO: Triplo S.: Pilkington Suncool 50/25

LUCERNARI CORPO DIRETTIVO: Doppio B.E.: Pilkington Optitherm S3 OW

LUCERNARIO MAGAZZINO: Vetrata fotovoltaica

VETRI LATERALI MAGAZZINO: Doppio B.E.: Pilkington Optitherm S1

VETRATA S-E MAGAZZINO: Doppio S.: Pilkington Suncool 70/35

Lastra interna e/o esterna	Parametri luminosi (%)		Parametri energetici (%)				Coefficiente di Shading			Valore U _g (W/m ² K)
	Trasmissione	Riflessione	Trasmissione diretta	Riflessione	Absorbimento	Fattore Solare	Lunghezza d'onda corta	Lunghezza d'onda lunga	Totale	
Composizione vetrocamera (4 mm Pilkington Optifloat [™] Clear – 16 mm Argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington Optifloat [™] Clear (per riferimento)	81	15	70	13	17	76	0,80	0,07	0,87	2,6
Pilkington K Glass [™]	75	18	60	16	24	72	0,69	0,14	0,83	1,5
Pilkington Optitherm [™] S5	79	13	53	28	19	62	0,61	0,10	0,71	1,1
Pilkington Optitherm [™] S3	80	13	54	26	20	61	0,62	0,08	0,70	1,1
Pilkington Optitherm [™] S1	70	21	42	38	20	48	0,48	0,07	0,55	1,0
Composizione vetrocamera triplo (4 mm lastra esterna – 12 mm Argon – 4 mm Pilkington Optifloat [™] Clear – 12 mm Argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington Optifloat [™] Clear (per riferimento)	74	20	60	17	23	68	0,69	0,09	0,78	1,8
Pilkington K Glass [™]	63	23	46	19	35	58	0,53	0,14	0,67	1,0
Pilkington Optitherm [™] S5	69	17	41	33	26	49	0,47	0,09	0,56	0,7
Pilkington Optitherm [™] S3	71	18	42	33	25	50	0,48	0,09	0,57	0,7
Pilkington Optitherm [™] S1	56	31	30	46	24	36	0,34	0,07	0,41	0,7
Pilkington Optitherm [™] GS	73	15	47	27	26	56	0,54	0,10	0,64	0,8
Composizione vetrocamera (4 mm Pilkington Optiwhite [™] – 16 mm argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington Optiwhite [™] (per riferimento)	84	15	82	15	3	83	0,94	0,01	0,95	2,6
Pilkington K Glass [™] OW	78	18	71	18	11	79	0,89	0,09	0,91	1,5
Pilkington Optitherm [™] S3 OW	82	13	60	31	9	66	0,69	0,07	0,76	1,1
Composizione vetrocamera triplo (4 mm lastra esterna – 12 mm argon – 4 mm Pilkington Optiwhite [™] – 12 mm argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington Optiwhite [™] (per riferimento)	78	21	75	20	5	77	0,86	0,03	0,89	1,8
Pilkington K Glass [™] OW	67	24	58	22	20	65	0,67	0,08	0,75	1,0
Pilkington Optitherm [™] S3 OW	74	18	48	39	13	53	0,55	0,06	0,61	0,7

Vetro esterno	Parametri luminosi (%)		Parametri energetici (%)				Coefficiente di Shading (%)			Valore U _g (W/m ² K)
	Trasmissione	Riflessione	Trasmissione diretta	Riflessione	Absorbimento	Fattore Solare	Onde corte	Onde lunghe	Totale	
Composizione vetrocamera (6 mm lastra esterna – 16 mm argon – 4 mm Pilkington Optifloat [™] Clear)										
Pilkington Suncool [™] Clear	65	22	40	32	28	43	46	4	50	1,1
Pilkington Suncool [™] 70/40	71	10	39	28	33	43	45	4	49	1,1
Pilkington Suncool [™] 70/35	70	16	35	35	30	37	40	3	43	1,0
Pilkington Suncool [™] 66/33	66	16	33	35	32	36	38	3	41	1,0
Pilkington Suncool [™] 50/25	50	18	24	33	43	27	28	3	31	1,0
Pilkington Suncool [™] Blue 50/27	50	19	25	35	40	28	29	3	32	1,1
Pilkington Suncool [™] Silver 50/30	50	39	29	43	28	31	33	3	36	1,0
Pilkington Suncool [™] 40/22	40	20	20	35	45	23	23	3	26	1,1
Pilkington Suncool [™] 30/17	30	25	16	37	47	19	18	4	22	1,1
Composizione vetrocamera triplo (6 mm lastra esterna – 12 mm argon – 4 mm Pilkington Optifloat [™] Clear – 12 mm argon – 4 mm Pilkington Optitherm [™] S3)										
Pilkington Suncool [™] Clear	58	25	32	34	34	38	37	7	44	0,7
Pilkington Suncool [™] 70/40	63	13	32	30	38	38	37	7	44	0,7
Pilkington Suncool [™] 70/35	63	19	29	36	35	34	33	6	39	0,7
Pilkington Suncool [™] 66/33	59	19	28	36	36	32	32	5	37	0,7
Pilkington Suncool [™] 50/25	45	20	21	33	46	24	24	4	28	0,7
Pilkington Suncool [™] Blue 50/27	45	20	21	36	43	25	24	5	29	0,7
Pilkington Suncool [™] Silver 50/30	45	40	24	44	32	28	28	4	32	0,7
Pilkington Suncool [™] 40/22	36	21	17	35	48	20	20	3	23	0,7
Pilkington Suncool [™] 30/17	27	26	13	37	50	16	15	3	18	0,7

Figura 50 - Schede tecniche dei vetri scelti

2.12.5. L'IMPORTANZA DELL'ISOLAMENTO NELLA BIOEDILIZIA

In un edificio che vuole massimizzare i risparmi per quanto riguarda i consumi energetici e allo stesso tempo fare un uso cosciente delle risorse naturali di cui si dispone, è necessario tenere ben presente che la scelta del tipo di isolamento di cui si farà uso influenzerà la vita della costruzione e degli occupanti durante tutto il suo ciclo di vita. A questo proposito abbiamo svolto un'indagine per capire, tra le infinite possibilità che il mercato offre, quali potessero essere quelle che rappresentavano il miglior compromesso tra prestazioni-costo-impatto ecologico.

Le caratteristiche richieste dalla bioedilizia ad un materiale per la coibentazione termoacustica sono: la traspirabilità, l'igroscopicità, la resistenza al fuoco, a muffe, funghi, insetti, roditori senza l'utilizzo di prodotti sintetici, l'assenza di odore, l'assenza di radioattività, la capacità di essere elettricamente neutro, la sostenibilità ambientale.

2.12.6. LE MACROCATEGORIE DI ISOLANTI

Quando parliamo di materiali isolanti è bene ricordare sempre a quale macrocategoria di provenienza fanno riferimento; in poche parole da che tipo di materia prima vengono ricavati. Possiamo facilmente catalogare gli isolanti come:

- **VEGETALI:** Fanno parte di questa voce tutti quei materiali che derivano dalla lavorazione di organismi vegetali come piante e fibre derivate.
- **ANIMALI**
- **MINERALI:** Ossia quei materiali che vengono ricavati dalla lavorazione di rocce o pietre
- **SINTETICI:** Gli isolanti facenti parte di questa categoria vengono prodotti con lavorazioni chimiche che in gran parte utilizzano combustibili fossili o comunque risorse non rinnovabili.

2.12.7. SCELTA DEL TIPO DI ISOLANTE

Fatte queste rapide considerazioni passiamo alla scelta vera e propria. Si possono confrontare vari parametri mediante l'utilizzo di tabelle, in modo che risulti più semplice capire i criteri di scelta effettuati. Di seguito troviamo una di queste tabelle che riepiloga i principali tipi di isolanti:

ORIGINE	materiale isolante	Conduttività termica λ in W/mK	Capacità termica specifica c in kJ/kgK	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	Spessore materiale isolante di confronto (1) in cm	Disponibilità materie prime	Fabbisogno di energia durante la produzione	Inquinamento ambientale durante la produzione	Misure precauzionali durante il montaggio	Riciclabilità	Possibili applicazioni (2)	Costo di trasporto	Costo materiale SFUSO: €/mq = 10 mq per 10 cm di isolante (3)	Costo materiale PANNELLI: €/mq per 1 cm di isolante (3)
VEGETALI	FIBRA DI LEGNO	0,038 - 0,040	2,10	3,0 - 10	9,5 - 10	rinnovabile, abbondante	elevato	basso	limitare la formazione di polvere durante il taglio	rimontabile	FE, TT, II, PS, CE, S, I, PE, AC, PI	basso	—	1,8 - 3,5
	SUGHERO	0,038 - 0,050	1,90	5,0 - 10	9,5 - 12,5	rinnovabile, limitata	elevato	basso	nessuna	raramente possibile	FE, TT, II, PS, CE, S, I, PE, AC, PI	elevato	150 - 240	2,2 - 4,8
	FIBRA DI CELLULOSA	0,038 - 0,042	1,90	1,0 - 2	9,5 - 10,5	prodotto da riciclaggio	basso	basso	mascherina parapolivere (per focchi)	raramente possibile	TT, II, CE, PE, PI, AC	medio	80 - 130 (4)	1,5 - 2,6
	FIBRA DI KENAF, CANAPA, LINO	0,038 - 0,042	1,7	1,0 - 2	9,5 - 10,5	rinnovabile, abbondante	basso	basso	nessuna	rimontabile	TT, II, CE, PE, AC	basso	—	1,3 - 2,1
	FIBRA DI MAIS	0,04	1,80	1,0 - 3	10	rinnovabile, abbondante	basso	basso	nessuna	rimontabile	TT, II, CE, PE, AC	elevato	—	2,1 - 2,4
	FIBRA DI COCCO	0,044 - 0,049	1,45	1,0 - 2	11 - 12,2	rinnovabile, abbondante	basso	basso	nessuna	rimontabile	TT, II, CE, PE, AC, PI	elevato	—	1,7 - 2,9
	LANA DI PECORA	0,040 - 0,043	1,70	1,0 - 2	10 - 10,7	rinnovabile, abbondante	basso	basso	nessuna	rimontabile	TT, II, CE, PE, TB, AC	medio	120 - 180	1,4 - 2,3
	VERMICULITE, PERLITE ESPANSA	0,047 - 0,070	0,90	5,0 - 8	11,7 - 17,5	non rinnovabile, abbondante	basso	medio	mascherina parapolivere	rimontabile	PS, CE, PE, PI, AF, DD, ID, KB	medio	130 - 200	—
	LANA DI VETRO, LANA DI ROCCIA	0,04	0,80	1,0 - 5,0	10	non rinnovabile, abbondante	molto elevato	molto elevato	guanti + mascherina parapolivere	rimontabile	FE, TT, II, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI	basso	—	0,9 - 3
	VETRO CELLULARE	0,040 - 0,050	0,80	sfuggo al vapore	10 - 12,5	non rinnovabile, abbondante	molto elevato	medio	aerare bene se utilizzati collanti	no	FE, TT, II, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI	medio	—	3,5 - 4,4
MINERALI	FIBRA DI POLIESTERE	0,035 - 0,045	0,24	3,0 - 5,0	8,7 - 11,2	prodotto da riciclaggio	basso	basso	nessuna	no	TT, II, CE, PE, TB, AC	medio	—	1,8 - 3,2
	POLISTIROLO ESPANSO (EPS) bianco o con grante	0,031 - 0,038	1,40	20 - 80	7,7 - 9,5	non rinnovabile, limitata	elevato	molto elevato	decazione in caso di taglio a filo caldo	raramente possibile	FE, TT, II, PE, CE, SI, PE, TB, AC, PI	elevato	—	1,3 - 2,8
	POLISTIROLO ESTRUSO (XPS)	0,035 - 0,038	1,40	100 - 300	8,7 - 9,5	non rinnovabile, limitata	elevato	molto elevato	decazione in caso di taglio a filo caldo	raramente possibile	FE, TT, II, SE, PS, CE, SI, PE, PI	elevato	217,00	2,3 - 3,9
SINTETICI	POLIURETANO (PUR)	0,025 - 0,032	1,20	30 - 100	6,2 - 8	non rinnovabile, limitata	elevato	molto elevato	limitare la formazione di polvere durante il taglio	raramente possibile	FE, TT, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI	elevato	—	2,4 - 3,3

Figura 51 - Caratteristiche dei principali materiali per isolamento

Dato che abbiamo diverse zone in cui usare materiali isolanti, e queste zone rispondono a diverse necessità, ci siamo serviti di più di un tipo di isolamento. Per esempio le chiusure contro terra pedonabili richiedono un'elevata resistenza a compressione, che non è possibile soddisfare con l'uso di materiali di origine vegetale o animale, tantomeno minerale. Quindi per necessità ci siamo rivolti alla categoria dei sintetici, scegliendo un polistirene espanso estruso in grado di reggere le sollecitazioni presenti nel magazzino e nello store, nonostante non sia sicuramente la più ecologica delle scelte. Per quanto riguarda invece i pannelli in legno di chiusura usati per i soffitti abbiamo optato per un riempimento con fibra di legno rispetto alla lana di roccia: infatti come si può notare dalla tabella il legno è un materiale rapidamente rinnovabile, di costo inferiore e con un impatto ecologico minore, il che, unito alle sue proprietà igroscopiche e la capacità di accumulare il calore in fase estiva, lo rende l'alternativa migliore per i nostri scopi. Sopra i pannelli in legno si trova un ulteriore strato di isolamento, che in alcuni casi deve sopportare anche carichi pedonabili, seppur modesti rispetto a quelli del piano terra. In questo caso la scelta è ricaduta sulla lana di roccia ad alta densità, in grado di sopportare le sollecitazioni presenti senza dover necessariamente ricorrere ad isolanti sintetici, il che è sicuramente preferibile dal punto di vista dell'ecocompatibilità vista la possibilità di riciclare il materiale al momento del suo smantellamento. Per le partizioni interne invece sono stati usati pannelli in fibre di kenaf interposti alle guide metalliche delle pareti a secco. I requisiti che abbiamo voluto soddisfare sono quelli riguardanti il benessere acustico, l'ecocompatibilità e l'economicità, e in questo il kenaf risulta migliore della lana di roccia. Rimane da esaminare solamente il tipo di isolante usato per le chiusure verticali opache di tutto l'edificio e che rappresenta il volume maggiore rispetto a tutto il resto degli isolanti. A questo materiale dedicheremo il prossimo trafiletto non essendo compreso all'interno della tabella soprastante.

2.12.8. LA CANNA PALUSTRE COME COIBENTAZIONE

La canna palustre si può considerare il più bio-ecologico dei materiali per l'isolamento. Vi sono altri materiali che hanno un bassissimo impatto ambientale e che sono altrettanto biocompatibili, come ad esempio la fibra di cocco, la juta, il lino, il mais, la fibra di cellulosa in fiocchi. Si tratta sempre di isolanti di origine vegetale. L'unica alternativa pienamente sostenibile è rappresentata dalla lana di pecora, che comunque presenta alcune lievi controindicazioni se lo si volesse considerare bioecologico al 100% (in particolare relativamente al riuso e smaltimento e ad un consumo di energia per la sua produzione ed utilizzazione ai fini edili).

La canna palustre è della famiglia delle graminacee e si raccoglie prevalentemente nei laghi e zone paludose. Le canne per l'utilizzo in edilizia vengono raccolte già secche e poi legate insieme mediante filo di ferro zincato o filo di



Figura 52 - Pannello di cannucciato per isolamento

nylon; in tal modo le cavità interne rimangono integre e contengono aria ferma, ottima per l'isolamento termico. Il materiale in questione si presenta quindi sotto forma di pannelli di vario spessore (mediamente circa 5 cm) e può essere utilizzato come cappotto interno o esterno all'edificio, all'interno di pareti e strutture lignee, come controsoffitto o anche all'interno di pareti divisorie interne. La canna palustre non teme l'umidità ed ha un buon comportamento termico ed acustico. Altri vantaggi che possono motivare l'uso di questo materiale, poco noto ma ottimo per la bioedilizia, sono: l'igroscopicità, la traspirazione, la resistenza all'attacco dei roditori e delle muffe, la resistenza all'umidità e alla marciscenza, la resistenza al fuoco grazie ad un alto contenuto di acido silicico e la sua perfetta salubrità.

Volendo riassumere le sue caratteristiche principali possiamo ricordare:

- Conduttività termica: 0,042 W/mK
- Permeabilità al vapore: 2
- Densità: circa 200 kg/m³
- Potere fono isolante: $R_w=23$ db per un pannello da 5cm
- Reazione al fuoco: classe 2

2.13. L'EFFICIENZA ENERGETICA DI UNA STRATIGRAFIA

2.13.1. IL FLUSSO TERMICO

Con flusso termico di trasmissione viene determinata l'entità di energia per unità di tempo che attraversa una parete opaca, a causa della differenza di temperatura tra interno ed esterno. Il carico per trasmissione può costituire un contributo importante al carico termico totale relativamente al quale l'impianto termico sarà dimensionato. In particolare, tale flusso è valutato in regime stazionario (temperatura indipendente dal tempo) nel caso di regime invernale. Nel caso di valutazioni durante il periodo di raffrescamento, l'incidenza dei diversi fattori e la variabilità dei fattori esterni, quali la radiazione solare, impongono una valutazione più complessa che non può prescindere dalla variabilità temporale. Tuttavia, in tale frangente la porzione trasmessa può risultare di gran lunga trascurabile rispetto alla sollecitazione indotta dai carichi interni (luci, persone e apparecchiature di diverso tipo) e dai carichi solari che giungono tramite le pareti vetrate. Ciò deriva principalmente dal fatto che la sollecitazione termica esterna viene trasmessa all'interno in modo ridotto a causa dello spessore e della capacità termica degli elementi di involucro attraversati. La variazione delle condizioni al contorno (ad esempio temperatura esterna variabile) può causare una frequente inversione della direzione del gradiente termico, contribuendo all'effetto di smorzamento.

L'entità del flusso termico monodirezionale attraverso una parete omogenea può essere espressa in modo semplificato come:

$$\Phi = U (T_{\text{medio}} - T_{\text{int}}) + \mu h_i (T_{\text{max}} - T_{\text{medio}}) \cos(\omega t + \varphi)$$

$\mu(x)$ = smorzamento alla profondità x ; è la variazione della temperatura alla profondità generica x , rispetto alla variazione della temperatura esterna.

α = diffusività termica = $\lambda/(c \rho)$ [m^2/s]

φ = variazione di tempo;

T_{max} = temperatura massima esterna;

T_{media} = temperatura media esterna;

U = trasmittanza termica della struttura [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$]

T_{int} = temperatura interna;

h_i = coefficiente di adduzione interno

ω = frequenza angolare della variazione termica = $2 \pi/T$

φ = differenza angolare di fase [rad]

Nell'espressione precedente il fattore di smorzamento μ e la variazione di tempo ϕ dipendono:

- Dalle proprietà isolanti s / λ dei singoli strati e dalla loro successione;
- Dall'inerzia dei singoli strati $s \rho c_p$.

Ora il massimo di tale flusso termico si verifica quando $\cos(\omega\tau - \phi) = 1$ e pertanto si può scrivere:

$$\Phi_{\max} = U (T_{\text{medio}} - T_{\text{int}}) + \mu h_i (T_{\text{max}} - T_{\text{medio}})$$

2.13.2. LA TRASMITTANZA

La trasmissione del calore avviene attraverso un corpo quando esso è sottoposto ad una differenza di temperatura. L'energia si trasferisce dal punto a temperatura maggiore al punto a temperatura minore. La schematizzazione che si applica alla trasmissione di calore si basa su tre meccanismi fondamentali:

- Conduzione
- Convezione
- Irraggiamento

L'analisi rigorosa di questo fenomeno si basa su basi teoriche molto complesse, e quindi per rendere più agevole lo sviluppo dei calcoli si ipotizzano le seguenti condizioni:

- regime stazionario (flusso di calore costante nel tempo)
- parete piana di estensione infinita
- materiale componente perfettamente omogeneo ed isotropo
- le due facce esterne della parete sono considerate come superfici isoterme

La trasmittanza U (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati.

$$U = 1 / RT$$

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

con:

R_{si} = resistenza superficiale interna;

$R_1; R_2; \dots; R_n$ = resistenze termiche utili di ciascuno strato;

R_{se} = resistenza superficiale esterna;

$$R = d / \lambda$$

con:

d = spessore dello strato di materiale nel componente;

λ = conduttività termica utile

2.13.3. ALTRI PARAMETRI SECONDO LA NORMA UNI EN ISO 13786

Ai sensi dello standard internazionale UNI EN ISO 13786 *Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation method* (2008), il report di calcolo richiede l'indicazione chiara della stratigrafia della parete, la definizione dei 4 elementi della matrice Z, fornendo dei singoli elementi modulo ed argomento, le due ammettenze termiche descritte da modulo ed argomento, il fattore di decremento ed il calcolo della trasmittanza termica eseguito secondo UNI EN ISO 6946 *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method* (2008).

E' opportuno richiamare la procedura indicata nella UNI 13786 per la determinazione di alcune delle caratteristiche termiche calcolate. In particolare la procedura consente il calcolo delle caratteristiche termiche dinamiche nel caso di variazione periodica sinusoidale.

La temperatura in una zona n può essere descritta nel suo variare con il tempo con la seguente espressione:

$$T_n(t) = \bar{T}_n + \left| \hat{T}_n \right| \cos(\omega t + \phi)$$

dove:

\bar{T}_n = temperatura media nel periodo considerato [°C];

$\left| \hat{T}_n \right|$ = semiampiezza della variazione di temperatura nel periodo considerato [K];

ω = frequenza angolare della variazione termica = $2 \pi/T$

T = periodo considerato [s];

ϕ = differenza angolare di fase [rad]

Allo stesso modo, in regime dinamico, varia con il tempo anche il flusso termico; nella zona n, questo risulta:

$$\Phi_n(t) = \bar{\Phi}_n + \left| \hat{\Phi}_n \right| \cos(\omega t + \phi)$$

dove:

$\bar{\Phi}_n$ = flusso termico medio nel periodo considerato [W/m²];

$\left| \hat{\Phi}_n \right|$ = semiampiezza della variazione di flusso nel periodo considerato [W/m²];

ω = frequenza angolare della variazione termica = $2 \pi/T$

T = periodo considerato [s];

ϕ = differenza angolare di fase [rad]

La normativa UNI EN ISO 13786 consente la valutazione sia della variazione di temperatura T e del flusso termico Φ in condizioni di regime dinamico (variazione temporale delle variabili). Tale calcolo si risolve con una notazione matriciale con le relazioni seguenti:

$$\hat{T}_e = Z_{11}\hat{T}_i + Z_{12}\hat{\Phi}_i$$

$$\hat{\Phi}_e = Z_{21}\hat{T}_i + Z_{22}\hat{\Phi}_i$$

$Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22}$ sono i termini della matrice di trasferimento.

Nel sistema si considera flusso positivo quello ceduto dall'ambiente interno all'esterno. Considerando la zona interna (i) ed esterna (e), un parametro molto importante della matrice è il termine Z_{11} o $1/Z_{11}$ che si ottiene dalla relazione:

$$\left(\frac{\hat{T}_i}{\hat{T}_e} \right)_{\Phi_i=0} = \frac{1}{Z_{11}}$$

ossia la variazione di temperatura all'interno θ_i dell'ambiente a causa di una variazione di temperatura all'esterno θ_e . Maggiore è Z_{11} e maggiore sarà l'attenuazione della sollecitazione di temperatura causata dalla variazione esterna. Di tale grandezza è possibile anche definire il ritardo temporale (time shift), che è l'argomento di tale grandezza e che indicherà il ritardo con cui si manifesta internamente il valore massimo dell'oscillazione periodica esterna. Allo stesso modo è possibile definire il rapporto tra ampiezza del flusso termico e variazione di temperatura quando la variazione di temperatura nel lato interno è nulla ($\hat{\theta}_i \Rightarrow 0$). In questo caso la indica:

$$\hat{T}_e = Z_{12}\hat{\Phi}_i$$

E' una condizione valutabile quando l'ambiente interno è controllato. **Si definisce trasmittanza dinamica U_{din} il rapporto tra il flusso indotto all'interno da una variazione periodica sinusoidale della temperatura esterna Φ_i e la variazione stessa T_e .**

$$U_{din} = \left(\frac{\hat{\Phi}_i}{\hat{T}_e} \right)_{\hat{T}_i=0}$$

Φ_i è positivo quando è diretto dall'ambiente interno all'esterno. Se si volesse invece collegare la trasmittanza al flusso positivo quando questo è diretto dall'ambiente esterno all'interno si dovrebbe scrivere:

$$U_{din} = \left(\frac{-\hat{\Phi}_i}{\hat{T}_e} \right)_{\hat{\theta}_i=0} = - \left(\frac{\hat{\Phi}_i}{\hat{T}_e} \right)_{\hat{\theta}_i=0}$$

In questo caso l'argomento del numero complesso fornisce lo sfasamento tra la variazione di flusso termico inviato all'ambiente interno e la variazione di temperatura esterna.

Dalla relazione risulta:

$$U_{din} = - \left(\frac{\hat{\Phi}_i}{\hat{T}_e} \right)_{\hat{\theta}_i=0} = - \frac{1}{Z_{12}}$$

Tale grandezza viene indicata nella norma con il simbolo Y_{12} . Molte volte si preferisce fornire il decremento, rapporto tra la trasmittanza dinamica e quella stazionaria, come:

$$f = \frac{U_{din}}{U} = \frac{|Y_{12}|}{U}$$

La trasmittanza U dell'elemento va calcolata ignorando i ponti termici eventualmente presenti nella struttura.

Altro parametro importante per caratterizzare le pareti in regime dinamico sono le ammettenze che indicano, con riferimento alle due superfici interna ed esterna, a fronte di variazioni unitarie T_i e T_e le potenze termiche entranti Φ_i e Φ_e

$$Y_{11} = \left(\frac{\hat{\Phi}_i}{\hat{T}_i} \right)_{\hat{\theta}_e=0} = - \frac{Z_{11}}{Z_{12}} \quad Y_{22} = - \left(\frac{\hat{\Phi}_e}{\hat{T}_e} \right)_{\hat{\theta}_i=0} = - \frac{Z_{22}}{Z_{12}}$$

Si noti che per valutare l'ammettenza esterna, si è preferito cambiare il segno; è preferibile valutare lo sfasamento rispetto alla potenza $-\Phi_e = \Phi_e$ entrante nella parete (mentre per come è stato ricavato il sistema Φ è positivo se dall'ambiente va verso l'esterno). **E' evidente che avere basse ammettenze significa avere, a parità di flussi termici, surriscaldamenti/raffreddamenti elevati.**

Infine altri due parametri significativi sono le capacità termiche dinamiche intese come l'inverso della parte immaginaria dell'inverso delle ammettenze, diviso per la frequenza angolare:

Utilizzando gli elementi della matrice di trasferimento è possibile determinare alcuni parametri.

La trasmittanza termica periodica Y_{12} è definita come il rapporto tra la variazione di flusso termico in entrata in un ambiente mantenuto a temperatura costante e la variazione di temperatura sull'altro ambiente

$$Y_{12} = \left. \frac{\hat{\Phi}_1}{\hat{T}_2} \right|_{\hat{T}_1=0} = -\frac{1}{Z_{12}}$$

Oltre all'entità dello smorzamento, è importante vedere dopo quanto tempo (rispetto al massimo della temperatura) si verifica il massimo del flusso termico:

$$\Delta t_{12} = \frac{T}{2\pi} \arg(Y_{12})$$

dove l'argomento è valutato tra -2π e 0 (ossia viene dato l'intervallo di tempo che deve passare dal massimo della variazione di temperatura al massimo della variazione di flusso termico); T è il periodo di variazione sinusoidale.

Le ammettenze termiche Y_{11} e Y_{22} rappresentano il rapporto tra la variazione di flusso termico in un ambiente e la variazione di temperatura sul medesimo ambiente. Nel caso in cui la parete sia una parete esterna tale rapporto è valutato con le condizioni al contorno $\hat{T}_2=0$ e $\hat{T}_1=0$, nel caso invece che la parete sia una parete interna si utilizzerà la condizione al contorno simmetrica $\hat{T}_1 = \hat{T}_2$:

$$Y_{11} = \left(\frac{\hat{\Phi}_1}{\hat{T}_1} \right)_{\hat{T}_1=\hat{T}_2} = \frac{1-Z_{11}}{Z_{12}} \quad Y_{22} = \left(\frac{\hat{\Phi}_2}{\hat{T}_2} \right)_{\hat{T}_1=\hat{T}_2} = \frac{1-Z_{22}}{Z_{12}}$$

Anche per le ammettenze è possibile valutare lo sfasamento temporale tra flusso termico e variazione di temperatura

$$\Delta t_{mm} = \frac{T}{2\pi} \arg(Y_{mm})$$

In questo caso, l'argomento è valutato tra 0 e 2π (ossia viene dato l'intervallo di tempo che deve trascorrere dal massimo della variazione di flusso termico al massimo della variazione di temperatura). Utilizzando le ammettenze termiche Y_{11} e Y_{22} si possono anche definire le **capacità termiche areiche**:

$$\chi_1 = \frac{|Y_{11}|}{\omega} \quad \chi_2 = \frac{|Y_{22}|}{\omega}$$

E' evidente che elevati valori delle capacità termiche areiche significa avere elevata capacità di immagazzinare calore (il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti η aumenta al crescere delle capacità termiche areiche). Più semplicemente, in regime invernale per poter sfruttare in modo razionale i carichi termici solari occorre disporre di pareti con elevate capacità areiche λ_1 . In estate dove si verificano delle elevate variazioni di temperatura esterna (sole-aria) è necessario che le pareti siano in grado di ridurre e ritardare sensibilmente i picchi di temperatura sulla superficie interna della parete in modo da attenuare il flusso termico ceduto all'interno. In particolare perché il processo sia efficiente è necessario che lo sfasamento sia tale da portare i picchi di temperatura sulla superficie interna durante le ore serali, quando la temperatura esterna dell'aria è più bassa ed è quindi possibile raffreddare attraverso la ventilazione. Anche la massa termica esposta verso lo spazio interno (capacità areica) ha un'efficacia notevole sulla riduzione dei picchi dei carichi di raffrescamento estivo dovuti agli apporti gratuiti favorendo lo smorzamento della temperatura interna grazie alla capacità di accumulo.

In pratica bassi valori del fattore di decremento f congiuntamente a alti valori della capacità termica areica interna e alti valori nello sfasamento della trasmittanza termica periodica denotano migliori caratteristiche delle pareti nell'attenuazione degli effetti delle sollecitazioni termiche esterne estive.

Si può ipotizzare che per ottenere valori interessanti ai fini del contenimento del surriscaldamento estivo si debba optare per strutture aventi le seguenti caratteristiche:

trasmittanza termica:	$\leq 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
trasmittanza termica dinamica:	$\leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
time shift (sfasamento):	$\geq 8 \div 9 \text{ h}$
capacità termica areica:	$\geq 25 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})$
fattore di decremento (attenuazione):	$\leq 0,2 \div 0,3$

I parametri di trasmittanza termica dinamica non verranno usati all'interno del nostro calcolo per il fabbisogno energetico, in quanto non seguiremo lo schema per un modello dinamico ma statico. Ad ogni modo vengono riportati nelle schede di analisi delle stratigrafie perché costituiscono un buon indicatore rispetto alla qualità del pacchetto.

2.13.4. VALORI MINIMI DI TRASMITTANZA SECONDO IL D.L. 26/01/1

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

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

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

Figura 53 - Tabella trasmittanze DL 26/01/2010

2.14. LA VERIFICA A CONDENSAZIONE: IL METODO DI GLASER

Tra le verifiche da svolgere in sede progettuale per valutare il rischio di condensa, il metodo di Glaser rappresenta sicuramente lo strumento più utilizzato per lo studio del comportamento igrometrico delle strutture, relativamente alla formazione di condensa interna. Le ipotesi semplificative su cui esso si basa sono comunque piuttosto pesanti e solo una loro attenta analisi può portare ad una esatta valutazione dei suoi limiti d'impiego. Con il metodo di Glaser è possibile verificare quanto succede dal punto di vista fisico all'interno di una parete quando, a seguito di un gradiente di pressione, una certa quantità di vapore acqueo attraversa la parete stessa. Durante tale passaggio è infatti possibile che il vapore acqueo incontri zone in cui la pressione parziale di vapore è inferiore al relativo limite di saturazione. Ciò comporta la formazione di un fronte di condensazione con la conseguente presenza d'acqua allo stato liquido all'interno della struttura. Le ipotesi semplificative su cui si basa il metodo di Glaser sono le seguenti:

- La struttura è piana e la direzione del flusso termico e di vapore è ortogonale alle superfici di ogni strato della parete. I flussi sono quindi monodimensionali e la parete è in condizioni termoigrometriche stazionarie;
- La parete si trova inizialmente allo stato asciutto;
- I materiali che compongono la parete non sono igroscopici;
- Il trasferimento di vapore attraverso la parete avviene per diffusione di vapore secondo le ipotesi della legge di Fick;
- Il valore di permeabilità di ogni singolo materiale componente la parete è costante;
- L'effetto di inerzia termica e igrometrica è trascurato;
- Il calore latente di evaporazione e condensazione è supposto nullo e quindi non influenza lo stato termico della struttura;

Le fasi che caratterizzano lo svolgimento della verifica di Glaser sono:

- Calcolo dell'andamento delle temperature all'interno della parete a partire dalle condizioni di temperatura esterna ed interna: il profilo della temperatura è influenzato ovviamente dalle caratteristiche di resistenza termica di tutti gli strati componenti la parete;
- Calcolo dell'andamento della pressione di saturazione all'interno della parete (P_s): con una opportuna formula si ricava per ogni valore di temperatura precedentemente determinato il corrispondente valore della pressione di saturazione;
- Calcolo dell'andamento della pressione parziale di vapore all'interno della parete (P_v): si tratta del reale andamento della pressione di vapore all'interno della parete, che dipende dalla permeabilità al vapore dei materiali presenti; Confronto fra le curve di pressione di saturazione (P_s) e pressione di vapore (P_v): se le due curve non si intersecano, secondo la teoria di Glaser la parete non forma condensa, se si intersecano la parete forma condensa in quanto la pressione di vapore risulta, almeno in una certa zona, più alta di quella di saturazione.

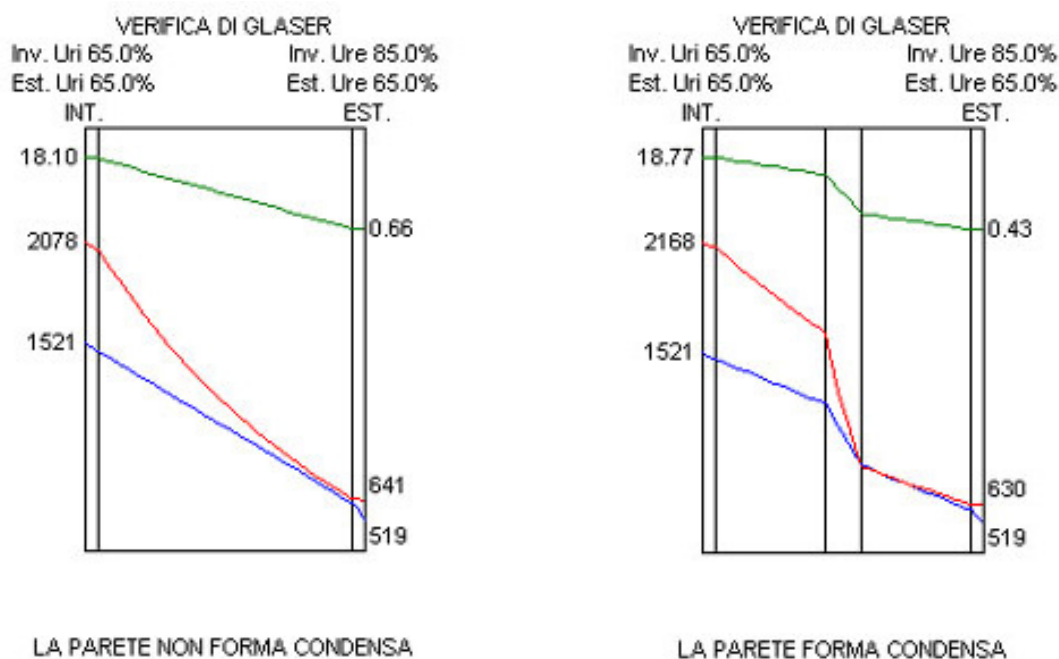


Figura 54 - Profili delle pressioni per due stratigrafie differenti

È logico, infine, considerare anche il fatto che la parete, durante le stagioni meno severe dal punto di vista climatico, sia in grado di smaltire l'eventuale condensa prodotta durante il periodo invernale. Alla luce di queste considerazioni è possibile formulare una logica e corretta procedura per la verifica termoigrometrica "globale" di una parete affermando quanto segue:

- Si esegue la verifica mese per mese calcolando l'eventuale condensa prodotta durante il periodo invernale;
- Nei mesi in cui non si verifica formazione di condensa si calcola l'eventuale quantità di condensa evaporata.

Bisogna tenere conto che le pareti in cui si abbia formazione di condensa interstiziale, che frequentemente avviene in corrispondenza di strati di materiale isolante interposto, a seguito di questo fenomeno potranno avere un decadimento delle prestazioni di isolamento termico inizialmente previste (la conduttività termica degli isolanti, in presenza di umidità è destinata ad aumentare notevolmente); pertanto, anche nel caso in cui una parete sia in grado di smaltire l'eventuale condensa interstiziale prodotta nei mesi più freddi, si dovrà tenere in debito conto il fatto che la formazione di condensa interstiziale costituisce comunque un problema sia per le prestazioni che per la durabilità nel tempo delle prestazioni termiche di una parete di questo tipo.

Di seguito si allegano le schede riguardanti l'analisi prestazionale dei pacchetti di chiusura che interessano il nostro edificio. La verifica alla condensa viene riportata in appendice. Il posizionamento di adeguate barriere al vapore e l'uso di materiali traspiranti hanno permesso di evitare accumulo di condensa in quasi la totalità delle stratigrafie. Solamente due pacchetti di chiusura presentano un leggero accumulo in fase invernale (ampiamente sotto i valori consentiti dalla normativa), che viene rapidamente smaltito nei mesi primaverili ed estivi e in generale non oltre giugno.

			Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24
CO 02 - Solaio controterra magazzino			Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400
Chiusura orizzontale (flusso discendente)			Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,17
			Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,04

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5		0,170
1		Battuto di cemento	0,020	1,400	0,014	1000	2000		0,139	0,014
2		Massetto in CLS	0,120	1,400	0,086	1000	2000		0,139	0,086
3		Isolamento in polistirene	0,100	0,034	2,941	1255	20		0,193	2,941
4		Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,018
5		Massetto in CLS	0,060	1,100	0,055	1000	2000		0,123	0,055
6		Aria	0,200	1,300	0,154			0,150	-	0,150
7		Getto di magrone	0,100	1,600	0,063	1000	2000		0,148	0,063
8									-	-
9									-	-
10									-	-
11									-	-
12									-	-
13									-	-
14									-	-
15									-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040

Spessore totale componente [cm] **60,10**

Resistenza termica totale [m2K/W] **3,536**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario			
T = 24 ore							
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,078	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	602
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	13,80	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	3,536
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,022	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,283
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	4,76	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,301
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	10,15	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	603
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	65,6	Costante di tempo	τ	[h]	592
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	139,6				
Fattore di smorzamento superficiale interno							
Parete disperdente	fsd	[-]	0,191				
Parete interna	fsi	[-]	0,188				

Dati acustici Stratigrafia del componente edilizio

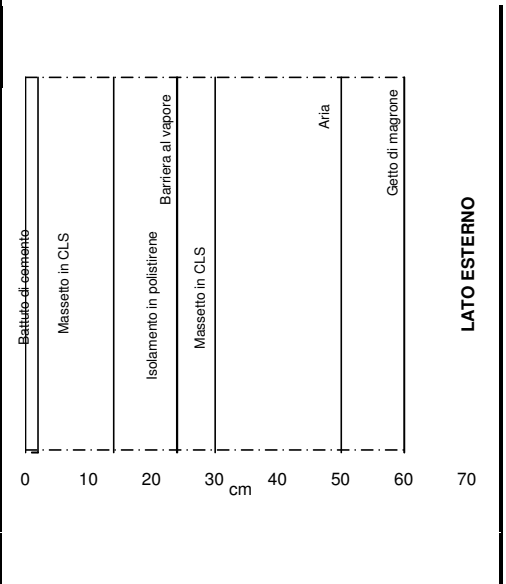
DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	602	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 Uni. Parma
Rw:	dB	0,00 Austria
Rw:	dB	0,00 Scheda tec.

Pareti pesanti doppie		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 EN 12354

Pareti leggere		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 DIN

Solai		
Rw:	dB	55,77 EN 12354
Lw:	dB	66,71 EN 12354
ΔLw	dB	0,00 EN 12354



		Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24
CO 03 - Solaio controterra store		Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400
Chiusura orizzontale (flusso discendente)		Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,17
		Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,04

Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi Aria Strato laminare interno			1	2	3	4	5		0,170
1 <input type="checkbox"/> Piastrelle	0,015	1,000	0,015	950	2000		0,120	0,125	0,015
2 <input type="checkbox"/> Riscaldamento a pavimento	0,025	1,400	0,018	1000	1100		0,187	0,134	0,018
3 <input type="checkbox"/> Massetto in CLS	0,045	1,400	0,032	1000	2000		0,139	0,324	0,032
4 <input type="checkbox"/> Isolamento in polistirene	0,110	0,034	3,235	1255	20		0,193	0,570	3,235
5 <input type="checkbox"/> Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,016	0,018
6 <input type="checkbox"/> Massetto in CLS	0,060	1,100	0,055	1000	2000		0,123	0,488	0,055
7 <input checked="" type="checkbox"/> Aria	0,250					0,150	-	-	0,150
8 <input type="checkbox"/> Getto di magrone	0,100	1,600	0,063	1000	2000		0,148	0,674	0,063
9 <input type="checkbox"/>							-	-	-
10 <input type="checkbox"/>							-	-	-
11 <input type="checkbox"/>							-	-	-
12 <input type="checkbox"/>							-	-	-
13 <input type="checkbox"/>							-	-	-
14 <input type="checkbox"/>							-	-	-
15 <input type="checkbox"/>							-	-	-
Rse Aria Strato laminare esterno									0,040

Spessore totale componente [cm] **60,60**

Resistenza termica totale [m2K/W] **3,795**

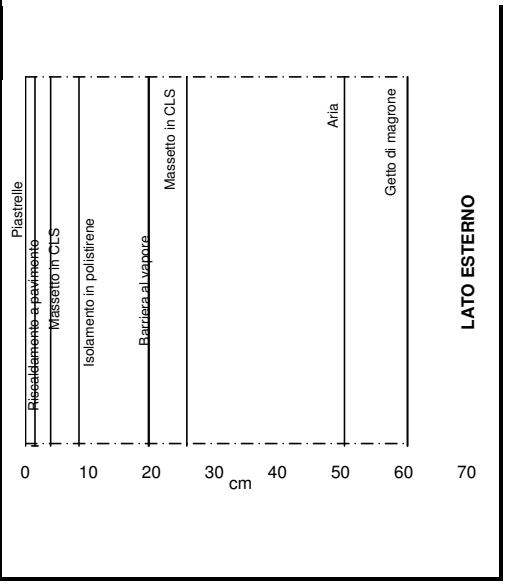
RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario			
T = 24 ore							
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,144	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	470
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	12,27	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	3,795
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,038	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,264
Ammetenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	4,55	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,279
Ammetenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	10,15	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	469
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	63,0	Costante di tempo	τ	[h]	495
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	139,9				
Fattore di smorzamento superficiale interno			192,3				
Parete disperdente	fsd	[-]	0,227				
Parete interna	fsi	[-]	0,221				

Dati acustici Stratigrafia del componente edilizio

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ²
	470	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 Uni. Parma
Rw:	dB	0,00 Austria
Rw:	dB	0,00 Scheda tec.
Pareti pesanti doppie		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Pareti leggere		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	Db	0,00 DIN
Solai		
Rw:	dB	53,35 EN 12354
Lw:	dB	70,48 EN 12354
ΔLw	dB	0,00 EN 12354



CO 04 - Solaio box/giardino		Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24
		Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400
Partizione orizzontale interna		Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,10
		Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,10

Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi Aria Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,100
1 Terreno di cultura	0,050	2,000	0,025	1600	1600		0,147	0,341	0,025
2 Ghiaia	0,060	0,600	0,100	900	1600		0,107	0,560	0,100
3 Guaina polietilene	0,010	0,400	0,025	1450	1000		0,087	0,115	0,025
4 Impalcato in predalles	0,240	0,750	0,320	900	1480		0,124	1,929	0,320
5							-	-	-
6							-	-	-
7							-	-	-
8							-	-	-
9							-	-	-
10							-	-	-
11							-	-	-
12							-	-	-
13							-	-	-
14							-	-	-
15							-	-	-
Rse Aria Strato laminare esterno									0,100

Spessore totale componente [cm] **36,00**

Resistenza termica totale [m2K/W] **0,670**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario			
T = 24 ore							
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,196	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	541
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	11,59	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	0,670
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,293	Trasmittanza	U	[W/m2K]	1,493
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	6,70	Conduttanza	C	[W/m2K]	2,128
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	4,99	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	549
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	95,9	Costante di tempo	τ	[h]	102
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	72,4				
Fattore di smorzamento superficiale interno							
Parete disperdente	fsd	[-]	0,330				
Parete interna	fsi	[-]	0,303				

Dati acustici Stratigrafia del componente edilizio

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	541	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	Uni. Parma
Rw:	dB	0,00	Austria
Rw:	dB	0,00	Scheda tec.

Pareti pesanti doppie

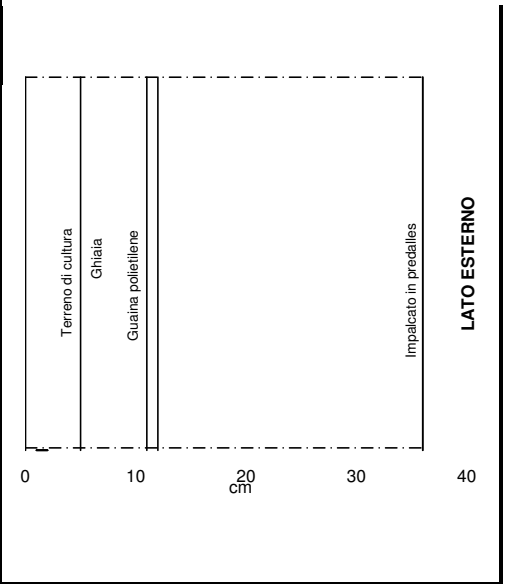
Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	EN 12354

Pareti leggere

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	DIN

Solai

Rw:	dB	54,73	EN 12354
Lw:	dB	68,33	EN 12354
ΔLw	dB	0,00	EN 12354



CO 05 - Giardino interno PT		Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400
		Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,17
		Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04
Chiusura orizzontale (flusso discendente)					

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5		0,170
1		Terreno di cultura	0,500	2,000	0,250	1600	1600	0,147	3,411	0,250
2		Ghiaia	0,060	0,600	0,100	900	1600	0,107	0,560	0,100
3		Guaina polietilene	0,005	0,400	0,013	1450	1000	0,087	0,057	0,013
4		Lana di roccia HD	0,110	0,038	2,895	830	115	0,105	1,051	2,895
5		Guaina polietilene	0,005	0,400	0,013	1450	1000	0,087	0,057	0,013
6		Getto di magrone	0,100	1,600	0,063	1000	2000	0,148	0,674	0,063
7								-	-	-
8								-	-	-
9								-	-	-
10								-	-	-
11								-	-	-
12								-	-	-
13								-	-	-
14								-	-	-
15								-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040

Spessore totale componente [cm] **78,00**

Resistenza termica totale [m2K/W] **3,542**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario			
T = 24 ore							
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,009	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	1119
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	22,11	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	3,542
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,003	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,282
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	4,76	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,300
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	10,83	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	1591
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	65,5	Costante di tempo	τ	[h]	1566
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	148,9				
Fattore di smorzamento superficiale interno							
Parete disperdente	fsd	[-]	0,190				
Parete interna	fsi	[-]	0,190				

Dati acustici

Stratigrafia del componente edilizio

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	1119	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	Uni. Parma
Rw:	dB	0,00	Austria
Rw:	dB	0,00	Scheda tec.

Pareti pesanti doppie

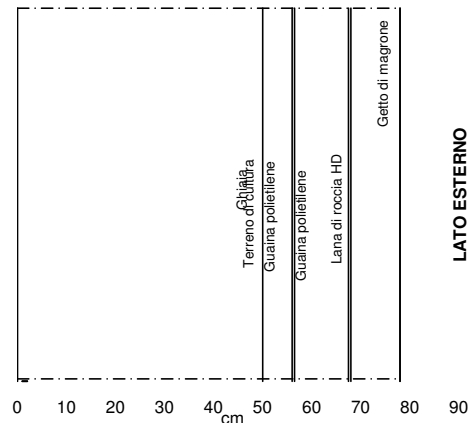
Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	EN 12354

Pareti leggere

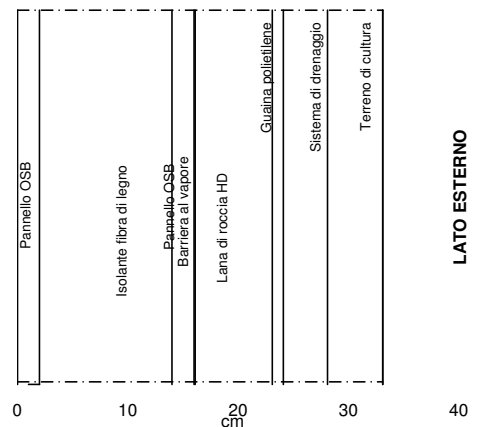
Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	DIN

Solai

Rw:	dB	61,79	EN 12354
Lw:	dB	57,30	EN 12354
ΔLw	dB	0,00	EN 12354



Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)								24		
CO 06 - Copertura verde magazzino		Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400					
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)		Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,10					
		Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04					
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,100	
1		Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750	0,053	0,378	0,154
2		Isolante fibra di legno	0,120	0,040	3,000	2000	60	0,096	1,253	3,000
3		Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750	0,053	0,378	0,154
4		Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250	0,061	0,016	0,018
5		Lana di roccia HD	0,070	0,038	1,842	830	115	0,105	0,669	1,842
6		Guaina polietilene	0,010	0,260	0,038	1450	1000	0,070	0,142	0,038
7		Sistema di drenaggio	0,040	0,040	1,000	1300	800	0,033	1,230	1,000
8		Terreno di cultura	0,050	2,000	0,025	1600	1600	0,147	0,341	0,025
9								-	-	-
10								-	-	-
11								-	-	-
12								-	-	-
13								-	-	-
14								-	-	-
15								-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040
Spessore totale componente [cm]			33,10			Resistenza termica totale [m2K/W]			6,371	
RISULTATI										
Regime periodico stabilizzato T = 24 ore					Regime stazionario					
Fattore di decremento (attenuazione)		fd	[-]	0,094		Massa superficiale		Ms	[kg/m2]	168
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)		φ	[h]	16,22		Resistenza termica totale		Rt	[m2K/W]	6,371
Trasmittanza termica periodica		Yie	[W/m2K]	0,015		Trasmittanza		U	[W/m2K]	0,157
Ammetenza termica lato interno		Yii	[W/m2K] , [h]	1,96 4,10		Conduttanza		C	[W/m2K]	0,160
Ammetenza termica lato esterno		Yee	[W/m2K] , [h]	8,89 3,82		Capacità termica areica		Cta	[kJ/m2K]	257
Capacità termica periodica lato interno		k1	[kJ/m2K]	26,9 29,2		Costante di tempo		τ	[h]	454
Capacità termica periodica lato esterno		k2	[kJ/m2K]	122,2 141,9						
Fattore di smorzamento superficiale interno										
Parete disperdente		fsd	[-]	0,804 0,111						
Parete interna		fsi	[-]	0,805 0,111						
Dati acustici					Stratigrafia del componente edilizio					
DATI		Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.			
		kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³			
		168	0	0	0	0	0			
Pareti pesanti monostrato										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Rw:	dB	0,00	IEN							
Rw:	dB	0,00	Uni. Parma							
Rw:	dB	0,00	Austria							
Rw:	dB	0,00	Schema tec.							
Pareti pesanti doppie										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Pareti leggere										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Rw:	dB	0,00	IEN							
Rw:	dB	0,00	DIN							
Solai										
Rw:	dB	43,32	EN 12354							
Lw:	dB	86,16	EN 12354							
ΔLw	dB	0,00	EN 12354							



		Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24
CO 06b - Copertura mag. con flottante		Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400
		Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,10
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)		Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,04

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5		0,100
1		Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750		0,053	0,378
2		Isolante fibra di legno	0,120	0,040	3,000	2000	60		0,096	1,253
3		Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750		0,053	0,378
4		Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,016
5		Lana di roccia HD	0,090	0,038	2,368	830	115		0,105	0,860
6		Guaina polietilene	0,010	0,260	0,038	1450	1700		0,054	0,186
7									-	-
8									-	-
9									-	-
10									-	-
11									-	-
12									-	-
13									-	-
14									-	-
15									-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040

Spessore totale componente [cm] **26,10**

Resistenza termica totale [m2K/W] **5,872**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario				
T = 24 ore								
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,238	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	65	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	9,83	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	5,872	
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,040	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,170	
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	1,96	4,09	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,174
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	2,04	4,78	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	99
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	27,5	29,8	Costante di tempo	τ	[h]	162
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	28,5	29,2				
Fattore di smorzamento superficiale interno								
Parete disperdente	fsd	[-]	0,804	0,796				
Parete interna	fsi	[-]	0,800	0,793				

Dati acustici

Stratigrafia del componente edilizio

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercep.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	65	0	0	0	0	35

Pareti pesanti monostrato

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	Uni. Parma
Rw:	dB	0,00	Austria
Rw:	dB	0,00	Scheda tec.

Pareti pesanti doppie

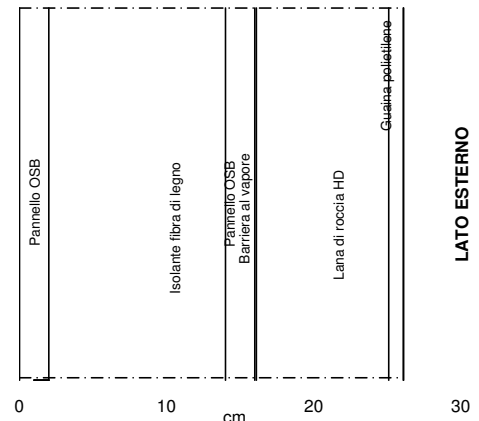
Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	EN 12354

Pareti leggere

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	DIN

Solai

Rw:	dB	34,08	EN 12354
Lw:	dB	100,59	EN 12354
ΔLw	dB	44,12	EN 12354



CO 07 - Copertura uffici			Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400
			Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,10
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)			Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04

Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi Aria Strato laminare interno			1	2	3	4	5		0,100
1 Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750		0,053	0,378	0,154
2 Isolante fibra di legno	0,120	0,040	3,000	2000	60		0,096	1,253	3,000
3 Pannello OSB	0,020	0,130	0,154	1700	750		0,053	0,378	0,154
4 Lana di roccia HD	0,090	0,038	2,368	830	115		0,105	0,860	2,368
5 Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,016	0,018
6 Guaina polietilene	0,010	0,260	0,038	1450	1000		0,070	0,142	0,038
7 Lamiera grecata	0,002	17,000	0,000	500	2700		0,588	0,003	0,000
8							-	-	-
9							-	-	-
10							-	-	-
11							-	-	-
12							-	-	-
13							-	-	-
14							-	-	-
15							-	-	-
Rse Aria Strato laminare esterno									0,040

Spessore totale componente [cm] **26,30**

Resistenza termica totale [m2K/W] **5,872**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato T = 24 ore				Regime stazionario			
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,241	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	63
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	9,69	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	5,872
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,041	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,170
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	1,96 4,09	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,174
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	1,56 4,64	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	92
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	27,5 29,8	Costante di tempo	τ	[h]	149
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	21,9 22,5				
Fattore di smorzamento superficiale interno							
<i>Parete disperdente</i>	fsd	[-]	0,804 0,844				
<i>Parete interna</i>	fsi	[-]	0,800 0,840				

Dati acustici **Stratigrafia del componente edilizio**

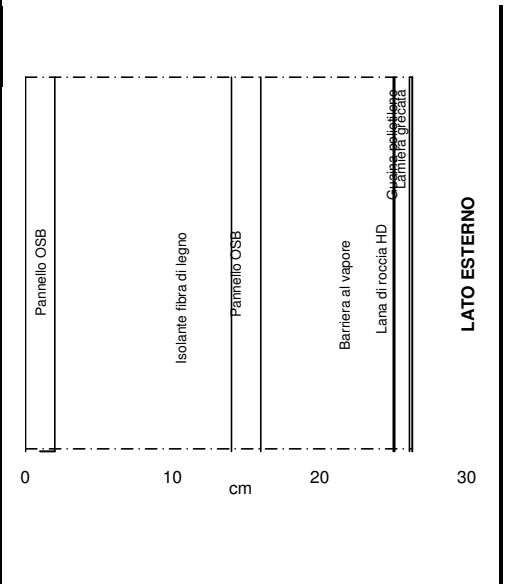
DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	63	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 Uni. Parma
Rw:	dB	0,00 Austria
Rw:	dB	0,00 Scheda tec.

Pareti pesanti doppie		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 EN 12354

Pareti leggere		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 DIN

Solai		
Rw:	dB	33,84 EN 12354
Lw:	dB	100,97 EN 12354
ΔLw	dB	0,00 EN 12354



CV 01 - Chiusura controterra box			Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400
			Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,13
			Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,13
Partizione verticale interna			Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24	

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5		0,130
1		Membrana bugnata	0,005	0,035	0,144	2200	100	0,066	0,076	0,144
2		Guaina polietilene	0,005	0,400	0,013	1450	1000	0,087	0,057	0,013
3		Setto in CLS armato	0,250	1,000	0,250	1100	2200	0,107	2,345	0,250
4								-	-	-
5								-	-	-
6								-	-	-
7								-	-	-
8								-	-	-
9								-	-	-
10								-	-	-
11								-	-	-
12								-	-	-
13								-	-	-
14								-	-	-
15								-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,130

Spessore totale componente [cm] **26,00** Resistenza termica totale [m2K/W] **0,666**

RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario				
T = 24 ore								
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,143	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	556	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	10,41	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	0,666	
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,215	Trasmittanza	U	[W/m2K]	1,501	
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	2,95	0,61	Conduttanza	C	[W/m2K]	2,462
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	5,23	1,06	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	613
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	43,4	74,3	Costante di tempo	τ	[h]	114
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	74,9	195,3				
Fattore di smorzamento superficiale interno								
Parete disperdente	fsd	[-]	0,617	0,319				
Parete interna	fsi	[-]	0,590	0,292				

Dati acustici Stratigrafia del componente edilizio

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	556	0	0	0	0	0

Pareti pesanti monostrato

Rw:	dB	60,93	EN 12354
Rw:	dB	54,89	IEN
Rw:	dB	50,27	Uni. Parma
Rw:	dB	62,93	Austria
Rw:	dB	-	Scheda tec.

Pareti pesanti doppie

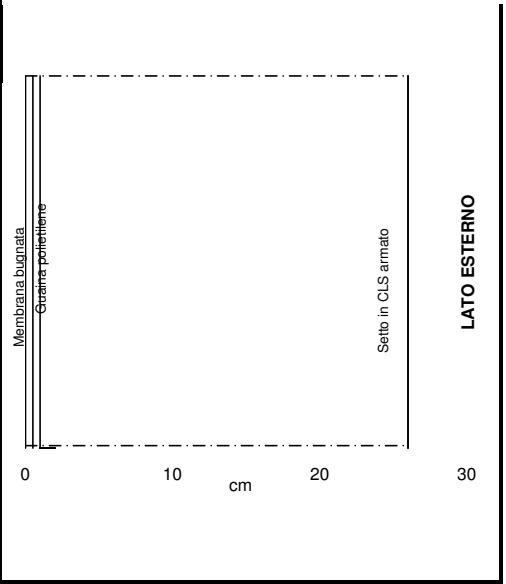
Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	EN 12354

Pareti leggere

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Rw:	dB	0,00	IEN
Rw:	dB	0,00	DIN

Solai

Rw:	dB	0,00	EN 12354
Lw:	dB	0,00	EN 12354
ΔLW	dB	0,00	EN 12354



CV 02 - Chiusura locale caldaia										Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24																	
Chiusura verticale										Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400																	
										Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,13																	
										Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,04																	
Descrizione degli strati			Spessore (s) [m]	Conducibilità termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																		
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,130																		
1	<input type="checkbox"/>	Blocchi in Gasbeton	0,400	0,101	3,960	1000	450		0,079	5,091	3,960																		
2	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
3	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
4	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
5	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
6	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
7	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
8	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
9	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
10	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
11	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
12	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
13	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
14	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
15	<input type="checkbox"/>								-	-	-																		
Rse	Aria	Strato laminare esterno									0,040																		
Spessore totale componente [cm]			40,00								Resistenza termica totale [m2K/W]	4,130																	
RISULTATI																													
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario																							
T = 24 ore																													
Fattore di decremento (attenuazione)			fd	[-]	0,074	Massa superficiale			Ms	[kg/m2]	180																		
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			φ	[h]	17,18	Resistenza termica totale			Rt	[m2K/W]	4,130																		
Trasmittanza termica periodica			Yie	[W/m2K]	0,018	Trasmittanza			U	[W/m2K]	0,242																		
Ammetenza termica lato interno			Yii	[W/m2K] , [h]	1,54	2,46	Conduttanza			C	[W/m2K]	0,253																	
Ammetenza termica lato esterno			Yee	[W/m2K] , [h]	1,73	2,81	Capacità termica areica			Cta	[kJ/m2K]	180																	
Capacità termica periodica lato interno			k1	[kJ/m2K]	21,1	24,9	Costante di tempo			τ	[h]	207																	
Capacità termica periodica lato esterno			k2	[kJ/m2K]	23,6	24,9																							
Fattore di smorzamento superficiale interno																													
Parete disperdente			fsd	[-]	0,800	0,775																							
Parete interna			fsi	[-]	0,801	0,777																							
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																							
DATI						<table border="1"> <tr> <td>Massa totale</td> <td>m sup₁</td> <td>m sup₂</td> <td>Intercap.</td> <td>Spess. Fibre</td> <td>Rigid. Din.</td> </tr> <tr> <td>kg/m²</td> <td>kg/m²</td> <td>kg/m²</td> <td>m</td> <td>cm</td> <td>MN/m³</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>						Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³	180	0	0	0	0	0
Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.																								
kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³																								
180	0	0	0	0	0																								
Pareti pesanti monostrato																													
Rw:	dB	42,57	EN 12354																										
Rw:	dB	45,11	IEN																										
Rw:	dB	42,73	Uni. Parma																										
Rw:	dB	47,07	Austria																										
Rw:	dB	49,00	Schema tec.																										
Pareti pesanti doppie																													
Rw:	dB	0,00	EN 12354																										
Rw:	dB	0,00	EN 12354																										
Pareti leggere																													
Rw:	dB	0,00	EN 12354																										
Rw:	dB	0,00	IEN																										
Rw:	dB	0,00	DIN																										
Solai																													
Rw:	dB	0,00	EN 12354																										
Lw:	dB	0,00	EN 12354																										
ΔLW	dB	0,00	EN 12354																										

CV 03 - Chiusura opaca mag./uff.	Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400
	Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,13
	Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04

Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5		0,130	
1	<input type="checkbox"/>	Cartongesso doppia lastra	0,025	0,290	0,086	1100	450		0,127	0,086	
2	<input type="checkbox"/>	Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,016	
3	<input type="checkbox"/>	Isolante in cannucciato	0,100	0,042	2,381	900	200		0,080	1,248	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Intercapedine d'aria	0,135	0,830	0,163			0,150	-	0,150	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Lastra fibrocemento	0,015	0,257	0,058	1000	1500		0,069	0,219	
6	<input type="checkbox"/>	Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250		0,061	0,016	
7	<input type="checkbox"/>	Isolante in cannucciato	0,150	0,042	3,571	900	200		0,080	1,872	
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Lastra fibrocemento	0,015	0,257	0,058	1000	1500		0,069	0,219	
9	<input type="checkbox"/>								-	-	
10	<input type="checkbox"/>								-	-	
11	<input type="checkbox"/>								-	-	
12	<input type="checkbox"/>								-	-	
13	<input type="checkbox"/>								-	-	
14	<input type="checkbox"/>								-	-	
15	<input type="checkbox"/>								-	-	
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040	
Spessore totale componente [cm]		44,20								Resistenza termica totale [m2K/W]	6,510

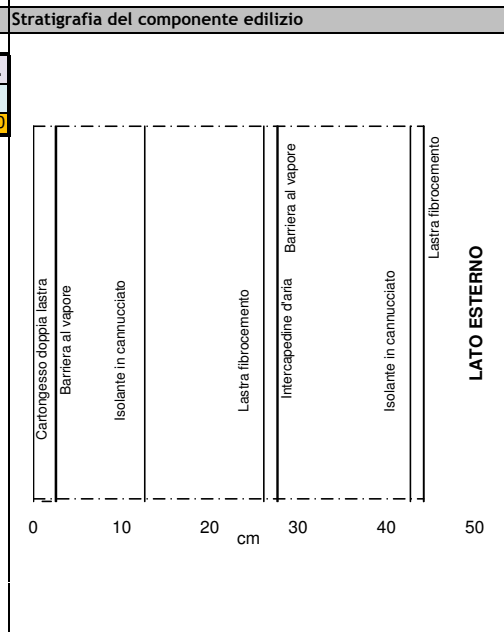
RISULTATI

Regime periodico stabilizzato				Regime stazionario			
T = 24 ore							
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,159	Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	107
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	12,54	Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	6,510
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,024	Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,154
Ammetenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	1,31	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,158
Ammetenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	2,10	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	103
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	18,2	Costante di tempo	τ	[h]	187
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	28,9				
Fattore di smorzamento superficiale interno							
Parete disperdente	fsd	[-]	0,829				
Parete interna	fsi	[-]	0,828				

Dati acustici

DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	107	11,25	22,5	0,135	20	0

Pareti pesanti monostrato		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 IEN
Rw:	dB	0,00 Uni. Parma
Rw:	dB	0,00 Austria
Rw:	dB	0,00 Scheda tec.
Pareti pesanti doppie		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Pareti leggere		
Rw:	dB	77,44 EN 12354
Rw:	dB	99,38 IEN
Rw:	dB	105,38 DIN
Solai		
Rw:	dB	0,00 EN 12354
Lw:	dB	0,00 EN 12354
ΔLw	dB	0,00 EN 12354



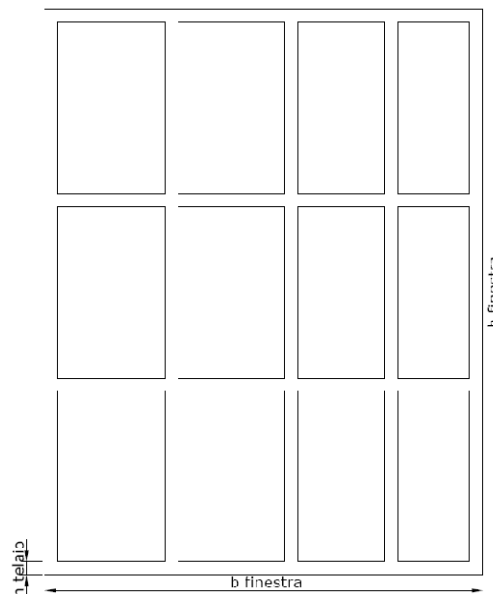
CV 05 - Chiusura in CA su scale										Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24																																																																
Chiusura verticale										Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400																																																															
										Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,13																																																															
										Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04																																																															
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conducibilità termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																																																																		
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5				0,130																																																																
1	<input type="checkbox"/>	Setto in CA	0,300	2,300	0,130	1100	2400		0,155	1,938		0,130																																																																
2	<input type="checkbox"/>	Polistirene esp.est.	0,150	0,035	4,286	1450	35		0,138	1,089		4,286																																																																
3	<input type="checkbox"/>	Rasatura	0,005	0,700	0,007	900	1500		0,119	0,042		0,007																																																																
4	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
5	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
6	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
7	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
8	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
9	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
10	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
11	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
12	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
13	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
14	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
15	<input type="checkbox"/>								-	-		-																																																																
Rse	Aria	Strato laminare esterno										0,040																																																																
Spessore totale componente [cm]		45,50		Resistenza termica totale [m2K/W]		4,593																																																																						
RISULTATI																																																																												
Regime periodico stabilizzato						T = 24 ore		Regime stazionario																																																																				
Fattore di decremento (attenuazione)			fd	[-]	0,082	Massa superficiale			Ms	[kg/m2]	733																																																																	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			φ	[h]	11,22	Resistenza termica totale			Rt	[m2K/W]	4,593																																																																	
Trasmittanza termica periodica			Yie	[W/m2K]	0,018	Trasmittanza			U	[W/m2K]	0,218																																																																	
Ammetenza termica lato interno			Yii	[W/m2K] , [h]	6,00	0,73	Conduzzanza			C	[W/m2K]	0,226																																																																
Ammetenza termica lato esterno			Yee	[W/m2K] , [h]	0,71	4,47	Capacità termica areica			Cta	[kJ/m2K]	806																																																																
Capacità termica periodica lato interno			k1	[kJ/m2K]	82,8	298,7	Costante di tempo			τ	[h]	1029																																																																
Capacità termica periodica lato esterno			k2	[kJ/m2K]	9,9	10,7																																																																						
Fattore di smorzamento superficiale interno																																																																												
Parete disperdente			fsd	[-]	0,220	0,907																																																																						
Parete interna			fsi	[-]	0,217	0,906																																																																						
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																																																																						
DATI		Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.																																																																					
		kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³																																																																					
		733	720	0	0,135	20	0																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Pareti pesanti monostrato</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>65,44</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>57,30</td> <td>IEN</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>52,12</td> <td>Uni. Parma</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>66,82</td> <td>Austria</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>Scheda tec.</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Pareti pesanti doppie</th> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Pareti leggere</th> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>IEN</td> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>DIN</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Solai</th> </tr> <tr> <td>Rw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <td>Lw:</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> <tr> <td>ΔLw</td> <td>dB</td> <td>0,00</td> <td>EN 12354</td> </tr> </tbody> </table>													Pareti pesanti monostrato			Rw:	dB	65,44	EN 12354	Rw:	dB	57,30	IEN	Rw:	dB	52,12	Uni. Parma	Rw:	dB	66,82	Austria	Rw:	dB	0,00	Scheda tec.	Pareti pesanti doppie			Rw:	dB	0,00	EN 12354	Rw:	dB	0,00	EN 12354	Pareti leggere			Rw:	dB	0,00	EN 12354	Rw:	dB	0,00	IEN	Rw:	dB	0,00	DIN	Solai			Rw:	dB	0,00	EN 12354	Lw:	dB	0,00	EN 12354	ΔLw	dB	0,00	EN 12354
Pareti pesanti monostrato																																																																												
Rw:	dB	65,44	EN 12354																																																																									
Rw:	dB	57,30	IEN																																																																									
Rw:	dB	52,12	Uni. Parma																																																																									
Rw:	dB	66,82	Austria																																																																									
Rw:	dB	0,00	Scheda tec.																																																																									
Pareti pesanti doppie																																																																												
Rw:	dB	0,00	EN 12354																																																																									
Rw:	dB	0,00	EN 12354																																																																									
Pareti leggere																																																																												
Rw:	dB	0,00	EN 12354																																																																									
Rw:	dB	0,00	IEN																																																																									
Rw:	dB	0,00	DIN																																																																									
Solai																																																																												
Rw:	dB	0,00	EN 12354																																																																									
Lw:	dB	0,00	EN 12354																																																																									
ΔLw	dB	0,00	EN 12354																																																																									

K PER PARETE VETRATA

La trasmittanza termica di un componente edilizio finestrato composto da un singolo serramento e relativo componente trasparente è data da (fig. 3):

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + L_g \psi_l}{A_g + A_f} \quad [1]$$

- dove: U_g è la trasmittanza termica dell'elemento vetrato;
- U_f è la trasmittanza termica del telaio (si ricava dai dati dei prospetti IV, V e VI);
- ψ_l è la trasmittanza lineare, da considerare solo in presenza di più vetri, dovuta alla presenza del distanziatore posto tra i due vetri in corrispondenza del telaio (si ricava in funzione del tipo di vetro e telaio dati del prospetto VII; tale valore si considera nullo per i vetri singoli);
- L_g è la lunghezza perimetrale della superficie vetrata;
- A_g è l'area del vetro;
- A_f è l'area del telaio.



- Ag** Dalla geometria
- Af** Dalla geometria
- Lg** Dalla geometria
- Ug** Dalla scheda tecnica
- Af** Dalla scheda tecnica
- ψl** Dal prospetto VII

Prospetto VII — Trasmittanza termica lineare ψ_l di distanziatori di telai per doppi vetri

Materiale del telaio	Vetro			
	2VS $U_g = 2,7 + 3,4$ $\psi_{12} = 0,006 + 0,003$	2VS LE $U_g = 1,3 + 2,6$ $\psi_{12} = 0,002 + 0,03$	3VS $U_g = 1,9 + 2,4$ $\psi_{12} = 0,008 + 0,005$	3VS LE $U_g = 0,8 + 1,9$ $\psi_{12} = 0,02 + 0,01$
legno $U_f = 1,10 + 2,50$ $\psi_{11} = 0,03 + 0,05$	0,03	0,05	0,03	0,04
plastica $U_f = 1,50 + 2,60$ $\psi_{11} = 0,03 + 0,05$	0,04	0,06	0,04	0,05
metallo con taglio termico $U_f = 2,40 + 3,80$ $\psi_{11} = 0,04 + 0,06$	0,05	0,07	0,05	0,06
metallo senza taglio termico	0,01	0,04	0,01	0,03

VS vetro semplice;
 VS LE vetro con pellicola riflettente;
 2 vetro camera costituito da due lastre ed un'intercapedine con distanziatore;
 3 vetro camera costituito da tre lastre e due intercapedini con distanziatore;
 U_g coefficiente di trasmissione termica della struttura vetrata;
 U_f coefficiente di trasmissione termica del telaio;
 ψ_{11} e ψ_{12} coefficienti di scambio termico lineare dei due componenti (vedere fig. 11).

finestra	n° ante orizzontali	n° ante verticali	b finestra[m]	h finestra[m]	h telaio[m]
triplo NE	6	1	42	11,5	0,05
triplo SW	6	1	17	11,5	0,05
doppio NW	6	1	20	3,7	0,05
triplo SE	6	1	26	3,5	0,05
doppio SE mag.	6	1	36,5	8	0,05
(finestra)					
(finestra)					
(finestra)					
(finestra)					

finestra	b vetro[m]	h vetro[m]	S vetro[mq]	2p vetro[m]	S telaio[mq]
triplo NE	41,65	11,4	474,81	220,1	8,19
triplo SW	16,65	11,4	189,81	170,1	5,69
doppio NW	19,65	3,6	70,74	82,5	3,26
triplo SE	25,65	3,4	87,21	92,1	3,79
doppio SE mag.	36,15	7,9	285,585	167,1	6,415
(finestra)	0	0	0	0	0
(finestra)	0	0	0	0	0
(finestra)	0	0	0	0	0
(finestra)	0	0	0	0	0

finestra	K vetro[W/mqK]	K telaio[W/mqK]	Ψ	K finestra[W/mqK]	R finestra[mqK/W]
triplo NE	0,7	3	0,05	0,76	1,31
triplo SW	0,7	3	0,05	0,81	1,23
doppio NW	1	3	0,05	1,14	0,87
triplo SE	0,7	3	0,05	0,85	1,18
doppio SE mag.	1	3	0,05	1,07	0,93
(finestra)					
(finestra)					
(finestra)					
(finestra)					

Per i lucernari si utilizzano gli stessi K forniti da questo foglio per vetri della stessa tipologia. Questo perché altrimenti dovremmo usare come K finestra solo il valore K del vetro dato che non sono presenti telai ma solo fissaggi puntuali a ragno. In questo modo infatti otterremmo trasmittanze troppo ottimistiche, che non rispecchiano esattamente il comportamento del vetro.

2.15. ANALISI DEI NODI

In allegato vengono inserite le tavole di studio di alcuni dei nodi progettuali più interessanti. La situazione più interessante è sicuramente quella dei nodi 1-2-3, dove si comprende come viene risolto l'attacco della facciata vetrata alla base e soprattutto in sommità, dove è presente anche un giunto elastico per evitare che le sollecitazioni indotte dal vento o dai carichi superiori creino uno sforzo eccessivo sulla facciata causandone il danneggiamento. Sempre in questi nodi viene illustrato il sistema d'aggancio del frangisole. Il nodo che esamina lo sbalzo che crea la copertura del magazzino ci fa vedere come la trave principale sia continua con l'interno.

2.16. IL BENESSERE ACUSTICO IN EDILIZIA

Lo studio della trasmissione del rumore negli edifici e la caratterizzazione dei materiali con cui vengono realizzati ha assunto una notevole importanza negli ultimi tempi, sia per l'emanazione di una nuova legislazione cogente che per la cresciuta sensibilità al problema dell'inquinamento acustico. Trattare di acustica edilizia significa prendere in considerazione tutti quegli aspetti che influenzano la qualità acustica all'interno degli ambienti abitativi. Si devono considerare innanzitutto le sorgenti di rumore che possono essere percepite all'interno degli edifici; queste possono essere esterne o interne. Va poi valutato il tipo di rumore prodotto dalle sorgenti (continuo, intermittente, tonale, impattivo, etc) e le modalità con cui si propaga all'interno dell'edificio (propagazione aerea o strutturale). Risulta fondamentale, infine, considerare le modalità di attenuazione del rumore, dalla riduzione del rumore aereo mediante materiali isolanti e assorbenti allo smorzamento di rumori impattivi e vibrazioni strutturali mediante materiali anticalpestio, antivibranti, desolidarizzanti, etc. Tutto questo processo va seguito partendo dalla fase di progettazione fino alla fase di realizzazione e di gestione. L'obiettivo deve essere quello di rispettare la legislazione vigente e garantire quindi il comfort acustico all'interno dell'edificio.

Le sorgenti di rumore, come detto, possono essere esterne o interne all'edificio stesso. Le principali fonti di rumore nell'ambiente esterno sono costituite dal traffico, da attività produttive, da centrali termiche ed elettriche, da attività commerciali e ricreative di ogni genere. All'interno delle unità abitative il rumore può essere generato dagli impianti e dalle attività delle persone.

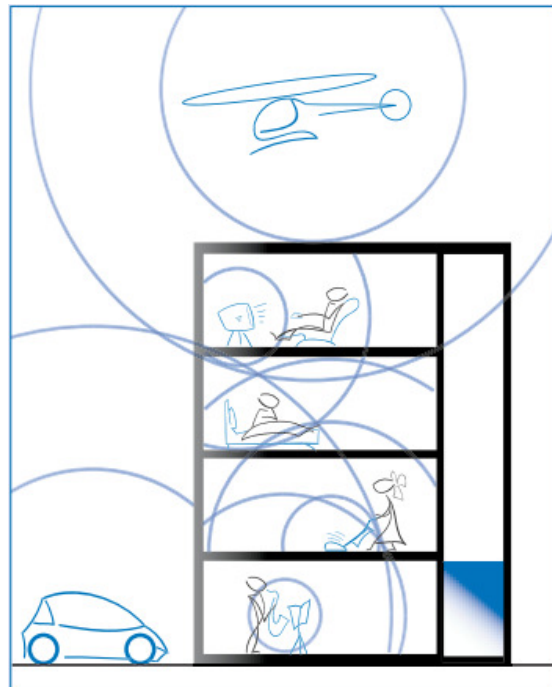


Figura 55 - Fonti di rumore e diffusione

2.16.1. LA PROPAGAZIONE DEL RUMORE NEGLI EDIFICI

Il rumore per diffondersi nell'ambiente, ed essere quindi da noi percepito, ha bisogno di un mezzo elastico (gas, liquido o solido). Nel caso specifico della propagazione del rumore all'interno degli edifici, tale mezzo di propagazione è costituito dagli stessi elementi strutturali che compongono l'edificio, quali pareti e solai. La trasmissione del suono avviene secondo due distinti meccanismi di propagazione: trasmissione per via aerea e trasmissione per via strutturale. Nel primo caso, il rumore si propaga nell'aria senza incontrare ostacoli solidi (ad es. condotte d'aria o aperture) mentre, nel secondo caso, la propagazione avviene attraverso le strutture solide dell'edificio, tramite

vibrazioni elastiche. Di norma, la trasmissione del rumore attraverso due ambienti interessa entrambi i meccanismi anche se, per ciascun componente edilizio, bisogna distinguere tra:

- **Trasmissione diretta:** quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso il solo elemento strutturale considerato (parete divisoria o solaio);
- **Trasmissione laterale:** quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso gli altri elementi strutturali adiacenti a quella considerata.

Per comprendere come possa un elemento strutturale ostacolare la propagazione del rumore, è necessario analizzare, in maniera semplificata, il fenomeno fisico della propagazione del rumore aereo attraverso un divisorio. Partendo dal principio fondamentale che *"nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma"*, quando un'onda sonora incide su una parete, espressa sotto forma di potenza sonora (W_i), questa si scompone in più componenti: una parte viene riflessa nell'ambiente sorgente (W_r) e una parte penetra nella parete, trasformandosi in energia vibrazionale. Quest'ultima viene, a sua volta, scorporata: una parte si dissipa in calore (W_d), mentre l'altra viene trasmessa nell'ambiente ricevente (W_t). È quindi evidente che la quantità di energia che viene assorbita e trasmessa dalla partizione dipende dalle caratteristiche fisiche del materiale impiegato.

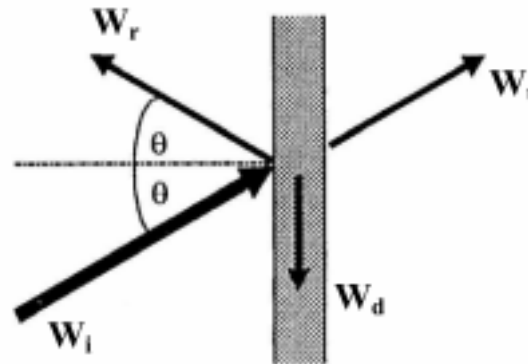


Figura 56 - Ripartizione dell'energia sonora incidente su una parete

Qualora si proceda ad una misura in opera, il parametro misurato è indicato come **potere fonoisolante apparente (R_w')**, il quale differisce dal valore di laboratorio per la specifica posa in opera del componente e per effetto della trasmissione laterale, fattori che inducono ad una riduzione dei valori di fonoisolamento.

2.16.2. LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

A livello nazionale sono state emanate negli anni diverse leggi riguardanti la regolamentazione delle prestazioni acustiche degli edifici. Tra queste possiamo ricordare:

- **Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 1769 del 30 aprile 1966**
“Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie”
- **Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967**
“Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici”
- **D.M. 18 dicembre 1975**
- **Legge 26 ottobre 1995, n. 447**
“Legge quadro sull’inquinamento acustico”
- **d.P.C.M. 5 dicembre 1997**
“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”

A livello europeo invece esistono varie normative UNI riguardanti l’argomento:

UNI EN ISO 140-3 1997, Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici – Parte 3: misurazione in laboratorio dell’isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio.

UNI EN ISO 140-4 2000, Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici – Parte 4: misurazione in opera dell’isolamento acustico per via aerea tra ambienti.

UNI EN ISO 140-5 2000, Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 5: misurazioni in opera dell’isolamento acustico degli elementi di facciata e delle facciate.

UNI EN ISO 140-6 2000, Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 6: misurazioni in laboratorio dell’isolamento dai rumori di calpestio di solai.

UNI EN ISO 140-7 (2000), Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 7: misurazioni in opera dell’isolamento dai rumori di calpestio di solai.

UNI EN ISO 140-8 (1999) Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazioni in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazioni su un solaio pesante normalizzato.

ISO 140-10 (1991) Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements. Laboratory measurements of airborne sound insulation of small building elements.

UNI EN ISO 717-1 (1997), Acustica - Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Parte 1: Isolamento acustico per via aerea.

UNI EN ISO 717-2 (1997), Acustica - Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Parte 2: Isolamento del rumore di calpestio.

UNI EN ISO 29052-1 1993. Determinazione della rigidità dinamica; materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali.

UNI EN 29053, Acustica - Materiali per applicazioni acustiche - Determinazione della resistenza al flusso dell'aria, 1994.

UNI EN 12431-2000, Isolanti termici per edilizia - Determinazione dello spessore degli isolanti per pavimenti galleggianti.

UNI EN ISO 12354-1, Acustica edilizia, stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 1, isolamento al rumore aereo tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-2, Acustica edilizia, stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 2, isolamento ai rumori impattivi tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-3, Acustica edilizia, stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 3: isolamento al rumore aereo contro il rumore esterno.

Di tutte le norme sopracitate possiamo riassumere brevemente il d.P.C.M. 5 dicembre 1997, che stabilisce i requisiti minimi per varie categorie di edifici, qui elencati:

categoria A	edifici adibiti a residenza o assimilabili
categoria B	edifici adibiti ad uffici e assimilabili
categoria C	edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
categoria D	edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
categoria E	edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
categoria F	edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
categoria G	edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Figura 57 - Categorie di edifici secondo DPCM 5/12/1997

Quelle cerchiare in rosso sono quelle di cui ci occuperemo, essendo presenti nel nostro progetto. Per ciascuna categoria sono indicati, per le partizioni verticali e orizzontali, i valori minimi di isolamento, mentre per i servizi sono riportati i valori massimi ammissibili di rumore da non superare nell'ambiente ricevente, ossia nel locale in cui è avvertito il maggior disturbo. In particolare:

- **Indice del potere fonoisolante apparente (R'_w)**, riferito a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari;
- **Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$)**;
- **Indice di valutazione del livello apparente normalizzato di rumore da calpestio di solai ($L'_{n,w}$)**;
- Livello massimo di pressione sonora, (L_{ASmax}), per i servizi a funzionamento discontinuo;
- livello continuo equivalente di pressione sonora, (L_{Aeq}), per i servizi a funzionamento continuo.

Categoria dell'edificio	Parametri				
	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	L_{Asmax}	L_{Aeq}
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

Figura 58 - Parametri acustici secondo categoria di appartenenza

Il menzionato d.P.C.M. è il primo e organico riferimento normativo nazionale per la protezione contro il rumore all'interno degli edifici civili, anche se presenta alcuni elementi critici, primo fra tutti quello di non aver definito le procedure di vigilanza e controllo della normativa. Inoltre, non è specificato se i requisiti indicati riguardano anche gli edifici esistenti e non viene fatta alcuna distinzione, all'interno della stessa categoria, tra edifici situati in zone tranquille e quelli posti in aree rumorose, con la conseguenza che mentre nel primo caso i limiti sono troppo restrittivi, nell'altro sono insufficienti.

2.16.3. MODELLI DI CALCOLO

Di seguito, per ciascun parametro richiesto dalla normativa di settore, nello specifico dal d.P.C.M. 5 dicembre 1997, saranno esposti due metodi di calcolo. Il primo metodo, impiega leggi empiriche, ricavate da attività di ricerca sperimentali, in relazione alla massa areica della struttura. Mentre, il secondo metodo utilizza il modello semplificato di calcolo proposto dal progetto di norma CEN e dalla normativa europea EN 12354.

- **Calcolare R_w :**

1. Pareti in laterizio o cls semplici con massa $100 < m' < 700 \text{ kg/m}^2$

$$R_w = 15,4 \log m' + 8 \quad (\text{dB})$$

In alternativa esistono formule di altra derivazione:

UNI EN ISO 12354 parte 1 ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 37,5 \cdot \lg m' - 42$	[dB]
IEN Galileo Ferraris ($50 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 20 \cdot \lg m'$	[dB]
Università di Parma per le pareti ($100 < m' < 700 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 15,4 \cdot \lg m' + 8$	[dB]
Università di Parma per i solai	$R_w = 22,4 \cdot \lg m' - 6,5$	[dB]
Istituto normativo austriaco Önorm ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	$R_w = 32,4 \cdot \lg m' - 26$	[dB]

2. Pareti doppie in laterizio

$$R_w = 20 \log m' \quad (\text{dB})$$

Nel caso in cui l'intercapedine sia almeno di 10 cm, la relazione diventa la seguente:

$$R_w = 20 \log m' + 20 \log d - 10 \quad (\text{dB})$$

dove d è la misura dell'intercapedine espressa in cm.

3. Pareti doppie leggere (cartongesso e simili)

$$R_w = 22,7 \left[\frac{(m' - 2,26) \left(1 - 0,3721 \log \frac{m'_2}{m'_1} \right)}{\log \frac{1,21}{d}} \right]^{0,268} \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa complessiva della parete (Kg/m^2), $m'_{1,2}$ sono i valori della massa superficiale dei due strati (con $m'_2 \geq m'_1$) e d è lo spessore dell'intercapedine ($d > 0,05$ metri).

O in alternativa:

Singola struttura: $R_w = 20 \lg m' + 20 \lg d + e - 6 \quad [\text{dB}] \quad (\text{fonte IEN})$

Singola struttura: $R_w = 20 \lg m' + 10 \lg d + e + 6 \quad [\text{dB}] \quad (\text{fonte IEN})$

Doppia struttura: $R_w = 20 \lg m' + 10 \lg d + e + 12 \quad [\text{dB}] \quad (\text{fonte DIN})$

In tali relazioni M è la massa areica totale (kg/m^2), d è lo spessore dell'intercapedine (cm), e e è lo spessore delle fibre minerali (cm).

4. Solai

$$R_w = 22,4 \log m' - 6,5 \quad (\text{dB})$$

5. Vetri monolitici, stratificati e vetro-camera con $m < 60 \text{ kg}/\text{m}^2$

VETRI MONOLITICI E VETRO-CAMERA

$$R_w = 12 \log m' + 17 \quad (\text{dB})$$

VETRI STRATIFICATI

$$R_w = 12 \log m' + 19 \quad (\text{dB})$$

VETRO-CAMERA CON UNA LASTRA STRATIFICATA

$$R_w = 12 \log m' + 20 \quad (\text{dB})$$

VETRO-CAMERA CON DUE LASTRE STRATIFICATE

$$R_w = 12 \log m' + 22 \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa areica globale della vetrata (Kg/m^2).

6. Valutare ΔR_w per l'aggiunta di strati addizionali (controsoffitto, contropareti, pavimenti galleggianti..)

Per strati addizionali il cui strato resiliente è fissato direttamente alla struttura di base senza montanti o correnti la frequenza di risonanza, f_0 , si ottiene dalla equazione seguente:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad [\text{Hz}]$$

dove:

s' è la rigidità dinamica dello strato isolante, in MN/m^3 ,

m_1 è la massa areica della struttura di base, in kg/m^2

m_2 è la massa areica dello strato addizionale, kg/m^2

Per strati addizionali non direttamente collegati alla struttura di base e realizzati con montanti o correnti, metallici o in legno, e con la cavità riempita mediante materiale poroso avente resistenza al flusso di aria $r > 5 \text{ kPas/m}^2$, la frequenza di risonanza si calcola da:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad [\text{Hz}]$$

dove:

d è lo spessore della cavità, in m;

m_1 è la massa areica della struttura di base, in kg/m^2

m_2 è la massa areica dello strato addizionale, kg/m^2

Dopo aver calcolato la frequenza di risonanza, l'incremento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante, ΔR_w , si ricava dalla seguente tabella, valida per strutture di base aventi l'indice di valutazione del potere fonoisolante, R_w , compreso da 20 dB a 60 dB.


Frequenza di risonanza f_0	ΔR_w
$f_0 < 80$	$35 - R_w/2$
$80 < f_0 < 125$	$32 - R_w/2$
$125 < f_0 < 200$	$28 - R_w/2$
$200 < f_0 < 250$	-2
$250 < f_0 < 315$	-4
$315 < f_0 < 400$	-6
$400 < f_0 < 500$	-8
$500 < f_0 < 1600$	-10
$f_0 > 1600$	-5

• **Calcolare R'w:**

Un metodo semplificato è proposto dal progetto di norma del Comitato Europeo di Normazione (CEN), il quale consente di determinare il valore dell'indice del potere fonoisolante apparente (R'w) di una partizione a partire dall'indice del potere fonoisolante (Rw), sottraendo un termine correttivo (C), corrispondente alla somma del contributo delle trasmissioni laterali, determinato in funzione della massa superficiale delle strutture laterali e del tipo di giunto di collegamento. In particolare:

$$R'_w = R_w - C \quad (\text{dB})$$

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a croce e masse superficiali uniformemente distribuite.



Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
100	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
150	3.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	
200	4.5	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	
250	5.0	3.5	2.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	
300	6.0	4.5	3.0	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	
350	7.0	5.0	3.5	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	
400	7.5	5.5	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	
450	8.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	
500	8.5	6.5	5.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a croce e masse superficiali nel rapporto 1:2,3



Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
100	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
150	4.0	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	
200	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	
250	6.0	4.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	
300	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	
350	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	
400	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0	
450	8.5	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	
500	9.0	7.5	6.0	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5	

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a T e masse superficiali uniformemente distribuite.



Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
100	3.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
150	5.0	3.0	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	
200	6.5	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	
250	8.0	5.5	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	
300	9.0	6.5	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
350	10.0	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	
400	10.5	8.5	6.5	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	
450	11.5	9.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	
500	12.0	9.5	8.0	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	

Figura 59 - Tabelle per la valutazione delle trasmissioni laterali

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a T e masse superficiali nel rapporto 1:2,3



		Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	100	4.0	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0
	150	6.0	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
	200	8.0	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
	250	9.0	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
	300	10.0	8.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
	350	11.0	8.5	7.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5
	400	11.5	9.5	8.0	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	450	12.0	10.0	8.5	7.0	6.0	5.5	4.5	4.0	3.5
	500	13.0	10.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0

• **Calcolare D_{2m,ntw}:**

Secondo la norma EN 12534-3, l'isolamento acustico di facciata può essere calcolato a partire dall'indice del potere fonoisolante apparente della facciata (R'_w), avuto riguardo sia della trasmissione diretta attraverso i vari elementi della partizione che della trasmissione laterale, con la seguente relazione.

$$D_{2m,ntw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6T_0S} \text{ (dB)}$$

dove S è la superficie della parete vista dall'ambiente interno (in m²), V è il volume dell'ambiente interno (in m³), T₀ è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 secondi e ΔL_{fs} è la differenza di livello per forma della facciata (dB) definita dalla seguente tabella.









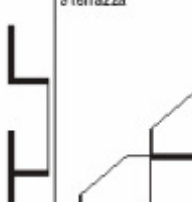
ΔL _{fs}	1 facciata piana	2 ballatoio	3 ballatoio	4 ballatoio	5 ballatoio
dB					
Assorbimento del tetto (α _q) =>	Non applicabile	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	0	-1 -1 0	-1 -1 0	0 0 1	Non applicabile
(1,5 - 2,5) m	0	Non applicabile	-1 0 2	0 1 3	Non applicabile
>2,5 m	0	Non applicabile	1 1 2	2 2 3	3 4 6
	6 balconi	7 balconi	8 balcone	9 terrazza	
					
				Ringhiera aperta Ringhiera chiusa	
Assorbimento del tetto (α _q) =>	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	-1 -1 0	0 0 1	1 1 2	1 1 1	3 3 3
(1,5 - 2,5) m	-1 1 3	0 2 4	1 1 2	3 4 5	5 6 7
>2,5 m	1 2 3	2 3 4	1 1 2	4 4 5	6 6 7

Figura 60 - Tabella per la valutazione di Δls

• **Calcolare $L'_{n,w}$:**

Anche in questo caso, nella valutazione del rumore da calpestio viene impiegato un modello di calcolo semplificato indicato dalla norma EN 12354-2, valido nel caso di ambienti sovrapposti e per solai con la struttura di base omogenea. L'indice del livello di rumore da calpestio normalizzato ($L'_{n,w}$), parametro richiesto dal d.P.C.M. 5 dicembre 1997, è calcolato mediante la seguente relazione.

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (\text{dB})$$

dove $L_{n,w,eq}$ è l'indice di valutazione del livello di pressione di rumore da calpestio normalizzato equivalente relativo al solaio nudo (dB), ΔL_w è il contributo dovuto alla presenza di pavimenti galleggianti e K è il fattore di correzione che tiene conto della trasmissione laterale. Per la maggior parte dei casi, in cui la massa areica del solaio nudo è compresa fra 100 e 600 Kg/m², l'indice del livello equivalente di rumore di calpestio normalizzato ($L_{n,w,eq}$) può essere calcolato con la seguente formula.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m'_0} \right) \quad (\text{dB})$$

Sulla base di dati sperimentali, è possibile calcolare, in prima approssimazione, il valore del contributo dovuto alla presenza di pavimenti galleggianti (ΔL_w) attraverso la seguente relazione semplificata.

$$\Delta L_w = 75 - 20 \log s' \quad (\text{dB})$$

dove s' è il valore della rigidità dinamica (MN/m³) del materiale resiliente impiegato. Infine, l'ultimo termine K indica il contributo in dB dovuto alla trasmissione laterale del rumore. Tale valore varia in funzione dalla massa areica del solaio e della media pesata delle masse areiche degli elementi laterali dell'ambiente ricevente, considerato che, tanto minore è la massa areica degli elementi laterali, tanto più elevato è il valore di K . Nella tabella di seguito riportata sono indicati i termini di correzione K , ricavati da dati sperimentali, e riportati nella citata norma EN.

Massa per unità di area dell'elemento divisorio (pavimento) kg/m ²	Massa media per unità di area degli elementi laterali omogenei non ricoperti con rivestimenti supplementari kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Figura 61 - Valutazione del termine K

2.16.4. IL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Quando si progettano spazi comuni come aule, sale concerto o sale eventi bisogna tener conto anche del tempo di riverberazione che questi ambienti generano. Possiamo definire il tempo di riverberazione T60 come il tempo necessario affinché il livello di pressione sonora in un ambiente, in condizioni stazionarie, decresca di 60 dB dopo che la sorgente ha smesso di produrre il suono. Un tempo troppo alto causerebbe un fastidioso effetto eco. Il metodo più utilizzato per valutare il T60 è la formula di Sabine:

$$T = 0,161 \frac{V}{A} \quad (\text{s})$$

Dove V è il volume dell'ambiente in questione e A è l'area di assorbimento totale in m² calcolata come:

$$A = \sum \alpha_i S_i \quad (\text{m}^2)$$

dove α_i è il coefficiente di assorbimento i-esimo e S_i è la superficie i-esima degli elementi presenti nell'ambiente. Dato che questi coefficienti dipendono dai materiali di cui sono composte le pareti, è stato utilizzato un software per lo studio del tempo di riverberazione. Impostando il volume e la superficie della stanza e scegliendo il tipo di materiali dal database presente, il software ricava una curva comparativa tra il tempo di riverberazione ottimale (funzione del tipo di attività presente) e quello del nostro ambiente. La nostra verifica è stata svolta solo per la sala eventi, dato che è quella che richiede un T60 particolarmente accurato rispetto al resto dell'edificio. Questo è quello che ne è risultato:

Tabella risultati

Nome	Zona eventi	
Descrizione		
Destinazione d'uso	Conferenze (parlato)	
Volume	2671.40	m ³
Superficie stimata	1831.60	m ²
Superficie computata	1861.00	m ²
Differenza superficie	1	%
T60 Struttura Medio	0.6318	sec.
T60 max aule	1.20	sec.
T60 max palestre	2.20	sec.

Frequenze [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T60 Ottimale [s]	1.26156	0.93716	0.79298	0.72089	0.75694	0.79298
T60 Struttura [s]	1.07247	0.658	0.5926	0.6871	0.58949	0.58092

Figura 62 - Risultati per T60 sala eventi

Per ogni frequenza viene riportato il T60 ottimale, confrontato con la nostra stanza. Si traduce nel seguente grafico:

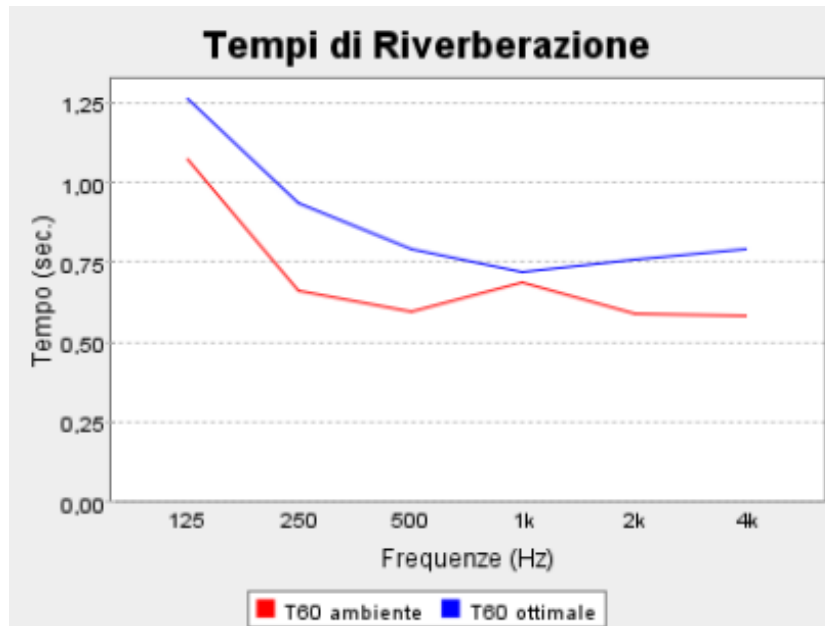


Figura 63 – Grafico di T60 per la sala eventi

Ne possiamo dedurre che i requisiti acustici sono stati rispettati e la nostra sala eventi risulta idonea ad accogliere le funzioni previste. Al momento del calcolo è stato inserito un controsoffitto fonoassorbente in lana minerale di legno, che è risultato necessario per ottenere un buon risultato. Anche l'affollamento previsto e il tipo di arredo hanno determinato l'andamento della curva, le nostre ipotesi sono state 80 persone, sedie in materiale morbido e tendaggi leggeri alle finestre. Per quanto riguarda gli uffici, e il generale per i locali che come soffitto hanno i pannelli Lignum, possiamo affermare che la configurazione di tale sistema garantisce un ottimo comportamento acustico, grazie al contributo dei fori che funzionano come risuonatori di Helmholtz e al pannello in fibra di legno interposto. La non disponibilità dei parametri alfa per questo materiale impediscono di concludere il calcolo come sopra.

2.16.5. VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

Data la grande variabilità di ambienti e di tipi di partizione usati nel nostro progetto, ci limiteremo a valutare l'isolamento acustico di facciata per una zona, ossia la vetrata degli uffici. La difficoltà nel valutare il tipo di fattore di correzione per trasmissione del giunto e il volume interno definibile come ambiente unico, rende questo calcolo assai indicativo.

Il valore di R_w per il triplo vetro, secondo la formula IEN per i vetrocamera, risulta:

CV04b	Massa tot.	m_{sup_1}	m_{sup_2}	Intercap.	Spess. Fibre
	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2	m	cm
	30	0	0	0	0
	R_w :	34,73 Db		Formula IEN	

ed appare abbastanza in linea con quello dichiarato dalla scheda tecnica fornita dalla Pilkington, pari a 32dB.

Volendo valutare il coefficiente C da applicare alla formula per calcolare R'w consideriamo la massa superficiale della partizione CV03, pari a 107kg/m² e ricerchiamo il valore corrispondente nella tabella 4 di figura 32. In realtà la massa del vetro essendo inferiore ai 100kg/m² non sarebbe contemplata in ordinata, per cui prendiamo come ipotesi la massa superficiale minima disponibile, ossia 100kg/m². Il valore trovato quindi è pari a 4dB. Per cui R'w diventa:

Rw - C= 30,73 dB

Se ora applichiamo la formula: $D_{2m,nTw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6T_0S}$ (dB)

usando T₀=0,5s, ΔL_{fs}=0 (facciata piana senza aggetti), un volume interno V=2645 m³ e una superficie di parete interna S=279,5 m² risulta che:

D_{2m,nTw} = 30,73 + 0 + 10 log 2645/(6*0,5*279,5) = 42,2 dB

Dato che l'isolamento acustico minimo di facciata per un ufficio è fissato a 40dB possiamo affermare di aver rispettato la normativa. Inoltre essendo la vetrata la parte più critica della facciata possiamo ipotizzare che anche le chiusure opache risultino a norma.

2.16.6. CONCLUSIONI

Nella nostra analisi ci siamo limitati a studiare Rw, Lw e a fare un esempio per quanto riguarda D_{2m,nTw}. Questo perché, vista la geometria del nostro edificio, risulta troppo complicato isolare ambienti ben definiti. Oltretutto la contemporanea presenza nello stesso ambiente di diverse percentuali di chiusure e partizioni e le particolari disposizioni delle stesse, non ci consente di stimare correttamente i valori di C e K per ogni stanza. Anche la valutazione del rumore dovuto agli impianti risulta impossibile da prevedere, per cui l'unica cosa che possiamo prescrivere è un adeguato isolamento acustico dei tubi di mandata dell'aria. Quello che possiamo concludere è che i valori di potere fono isolante semplice e di livello di rumore di calpestio sono tutti superiori ai valori di norma, seppur difficilmente confrontabili con la stessa viste le difficoltà incontrate. Possiamo affermare inoltre che la chiusura vetrata sugli ambienti lavorativi rispetta il valore minimo di isolamento acustico di facciata. Garantendo una posa in opera eseguita a regola d'arte e adottando i sistemi necessari a ridurre per quanto possibile i disturbi generati dalla trasmissione dei rumori attraverso i giunti, questi valori (seppur ridotti) hanno buone probabilità di rimanere entro i limiti normativi. Per affermare questo ci siamo basati anche sul confronto tra il nostro edificio e altri edifici di riferimento, che presentano stratigrafie simili e sono certificati a norma di legge.

I calcoli acustici eseguiti sulle partizioni di principale importanza, con il confronto tra i vari metodi proposti, sono riportati di seguito. I risultati relativi alle chiusure sono stati inseriti nelle schede dedicate all'analisi delle prestazioni energetiche.

Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)								24		
PO 01 - Solai tra store e box			Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400				
Chiusura orizzontale (flusso discendente)			Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,17				
			Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,04				
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,170	
1	<input type="checkbox"/>	Piastrelle	0,015	1,000	0,015	950	2000	0,120	0,125	0,015
2	<input type="checkbox"/>	Riscaldamento a pavimento	0,025	1,400	0,018	1000	1100	0,187	0,134	0,018
3	<input type="checkbox"/>	Massetto in CLS	0,045	1,400	0,032	1000	2000	0,139	0,324	0,032
4	<input type="checkbox"/>	Isolamento in polistirene	0,110	0,034	3,235	1255	20	0,193	0,570	3,235
5	<input type="checkbox"/>	Guaina polietilene	0,010	0,400	0,025	1450	1700	0,067	0,150	0,025
6	<input type="checkbox"/>	Impalcato in predalles	0,240	0,750	0,320	900	1480	0,124	1,929	0,320
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040
Spessore totale componente [cm]			44,50		Resistenza termica totale [m2K/W]			3,855		

RISULTATI

Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio
DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³
	522	0	0	0	0	0
Pareti pesanti monostrato						
Rw:	dB	0,00	EN 12354			
Rw:	dB	0,00	IEN			
Rw:	dB	0,00	Università di Parma			
Rw:	dB	0,00	Norme Austriache			
Rw:	dB	0,00	Schema tecnica			
Pareti pesanti doppie						
Rw:	dB	0,00	EN 12354			
Rw:	dB	0,00	EN 12354			
Pareti leggere						
Rw:	dB	0,00	EN 12354			
Rw:	dB	0,00	IEN			
Rw:	dB	0,00	DIN			
Solai						
Rw:	dB	54,37	EN 12354			
Lw:	dB	68,88	EN 12354			
ΔLw	dB	0,00	EN 12354			

Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)										24																		
PO 02 - Solaio interpiano				Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400																					
				Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]		0,10																				
Partizione orizzontale interna				Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]		0,10																				
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																		
Rsi	Aria	Strato laminare interno									0,100																	
1	<input type="checkbox"/>	Finitura a parquet	0,020	0,180	0,111	1600	720	0,066	0,305	0,111																		
2	<input type="checkbox"/>	Riscaldamento a pavimento	0,025	1,400	0,018	1000	1100	0,187	0,134	0,018																		
3	<input type="checkbox"/>	Massetto CLS alleggerito	0,070	0,099	0,707	1000	500	0,074	0,949	0,707																		
4	<input type="checkbox"/>	Isolamento acustico	0,010	0,039	0,256	1255	20	0,207	0,048	0,256																		
5	<input type="checkbox"/>	Barriera al vapore	0,001	0,057	0,018	1700	250	0,061	0,016	0,018																		
6	<input type="checkbox"/>	Pannello strutt. in legno	0,120	0,100	1,200	1600	480	0,060	2,005	1,200																		
7	<input type="checkbox"/>	Controsoff.+lana	0,060	0,040	1,500	840	135	0,098	0,609	1,500																		
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
Rse	Aria	Strato laminare esterno									0,100																	
Spessore totale componente [cm]		30,60		Resistenza termica totale [m2K/W]		4,010																						
RISULTATI																												
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa totale</th> <th>m sup₁</th> <th>m sup₂</th> <th>Intercap.</th> <th>Spess. Fibre</th> <th>Rigid. Din.</th> </tr> <tr> <th>kg/m²</th> <th>kg/m²</th> <th>kg/m²</th> <th>m</th> <th>cm</th> <th>MN/m³</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>143</td> <td>8,1</td> <td>0</td> <td>0,07</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³	143	8,1	0	0,07	0	0					
Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.																							
kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³																							
143	8,1	0	0,07	0	0																							
Pareti pesanti monostrato Rw: dB 0,00 EN 12354 Rw: dB 0,00 IEN Rw: dB 0,00 Università di Parma Rw: dB 0,00 Norme Austriache Rw: dB 0,00 Scheda tecnica																												
Pareti pesanti doppie Rw: dB 0,00 EN 12354 Rw: dB 0,00 EN 12354																												
Pareti leggere Rw: dB 0,00 EN 12354 Rw: dB 0,00 IEN Rw: dB 0,00 DIN																												
Solai Rw: dB 41,78 EN 12354 Lw: dB 88,56 EN 12354 ΔLw: dB 0,00 EN 12354																												

Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)										24																		
PO 02c - Solaio interpiano alto+contros.				Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400																					
				Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,10																					
Partizione orizzontale interna				Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,10																					
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conductività termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																		
Rsi	Aria	Strato laminare interno									0,100																	
1	<input type="checkbox"/>	Finitura a parquet	0,020	0,180	0,111	1600	720	0,066	0,305	0,111																		
2	<input type="checkbox"/>	Riscaldamento a pavimento	0,025	1,400	0,018	1000	1100	0,187	0,134	0,018																		
3	<input type="checkbox"/>	Massetto CLS alleggerito	0,200	0,099	2,020	1000	500	0,074	2,710	2,020																		
4	<input type="checkbox"/>	Isolamento acustico	0,010	0,039	0,256	1255	20	0,207	0,048	0,256																		
5	<input type="checkbox"/>	Barriera al vapore	0,002	0,050	0,040	850	1000	0,040	0,050	0,040																		
6	<input type="checkbox"/>	Pannello strutt. in legno	0,160	0,100	1,600	1600	480	0,060	2,674	1,600																		
7	<input type="checkbox"/>	Controsoff.+lana	0,060	0,040	1,500	840	135	0,098	0,609	1,500																		
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-																		
Rse	Aria	Strato laminare esterno									0,100																	
Spessore totale componente [cm]							47,70	Resistenza termica totale [m2K/W]		5,746																		
RISULTATI																												
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa totale</th> <th>m sup₁</th> <th>m sup₂</th> <th>Intercap.</th> <th>Spess. Fibre</th> <th>Rigid. Din.</th> </tr> <tr> <th>kg/m²</th> <th>kg/m²</th> <th>kg/m²</th> <th>m</th> <th>cm</th> <th>MN/m³</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>229</td> <td>8,1</td> <td>0</td> <td>0,07</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³	229	8,1	0	0,07	0	0					
Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.																							
kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³																							
229	8,1	0	0,07	0	0																							
Pareti pesanti monostrato Rw: dB 0,00 EN 12354 Rw: dB 0,00 IEN Rw: dB 0,00 Uni. Parma Rw: dB 0,00 Austria Rw: dB 0,00 Scheda tec.																												
Pareti pesanti doppie Rw: dB 14,10 EN 12354 Rw: dB 47,20 EN 12354																												
Pareti leggere Rw: dB 0,00 EN 12354 Rw: dB 0,00 IEN Rw: dB 0,00 DIN																												
Solai Rw: dB 46,36 EN 12354 Lw: dB 81,41 EN 12354 ΔLw: dB 0,00 EN 12354						<table border="1"> <thead> <tr> <th>f₀</th> <th>ΔRw</th> <th>Rw</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>72,08</td> <td>11,82</td> <td>58 dB</td> </tr> </tbody> </table>					f ₀	ΔRw	Rw	72,08	11,82	58 dB												
f ₀	ΔRw	Rw																										
72,08	11,82	58 dB																										

PV 02c - Partizione interna attrezzata										Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24	
Partizione verticale interna										Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400
										Resistenza termica sup interna Rsi		[m ² K/W]	0,13
										Resistenza termica sup esterna Rse		[m ² K/W]	0,13
Descrizione degli strati			Spessore (s)	Conductività termica (λ)	Resistenza termica	Calore specifico (c)	Densità (ρ)	Resistenza termica aria	Profondità di penetrazione al periodo T (δ)	ξ = s/d	Resistenza termica		
			[m]	[W/mK]	[mqK/W]	[J/kgK]	[kg/m3]	[m2K/W]	[m]	[-]	[m2k/w]		
Rsi	Aria	Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,130		
1	<input type="checkbox"/>	Cartongesso	0,025	0,290	0,086	1100	450		0,127	0,197	0,086		
2	<input type="checkbox"/>	Fibra di kenaf	0,050	0,039	1,282	1000	50		0,146	0,341	1,282		
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intercapedine	0,070	0,830	0,084			0,150	-	-	0,150		
4	<input type="checkbox"/>	Fibra di kenaf	0,050	0,039	1,282	1000	50		0,146	0,341	1,282		
5	<input type="checkbox"/>	Cartongesso	0,025	0,290	0,086	1100	450		0,127	0,197	0,086		
6	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
7	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
8	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
9	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
10	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
11	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
12	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
13	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
14	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
15	<input type="checkbox"/>								-	-	-		
Rse	Aria	Strato laminare esterno									0,130		
Spessore totale componente [cm]										22,00	Resistenza termica totale [m2K/W]		3,147
RISULTATI													
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio							
DATI						Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.		
						kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³		
						28	11,25	11,25	0,07	10	0		
Pareti pesanti monostrato						Rw:	dB	0,00	EN 12354				
						Rw:	dB	0,00	IEN				
						Rw:	dB	0,00	Uni. Parma				
						Rw:	dB	0,00	Austria				
						Rw:	dB	0,00	Scheda tec.				
Pareti pesanti doppie						Rw:	dB	0,00	EN 12354				
						Rw:	dB	0,00	EN 12354				
Pareti leggere						Rw:	dB	50,93	EN 12354				
						Rw:	dB	55,69	IEN				
						Rw:	dB	61,69	DIN				
Solai						Rw:	dB	0,00	EN 12354				
						Lw:	dB	0,00	EN 12354				
						ΔLw:	dB	0,00	EN 12354				

PV 03c - Partizione interna non attrezzata								Periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)		24
								Periodo delle variazioni termiche T	[sec]	86400
								Resistenza termica sup interna Rsi	[m ² K/W]	0,13
Partizione verticale interna								Resistenza termica sup esterna Rse	[m ² K/W]	0,13
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conducibilità termica (λ) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (ρ) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (δ) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,130	
1	<input type="checkbox"/>	Cartongesso	0,025	0,290	0,086	1100	450	0,127	0,197	0,086
2	<input type="checkbox"/>	Fibra di kenaf	0,050	0,039	1,282	1000	50	0,146	0,341	1,282
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intercapedine	0,030	0,830	0,036			0,150	-	0,150
4	<input type="checkbox"/>	Cartongesso	0,025	0,290	0,086	1100	450	0,127	0,197	0,086
5	<input type="checkbox"/>							-	-	-
6	<input type="checkbox"/>							-	-	-
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,130
Spessore totale componente [cm]								13,00	Resistenza termica totale [m2K/W]	1,864
RISULTATI										
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio				
DATI	Massa totale	m sup ₁	m sup ₂	Intercap.	Spess. Fibre	Rigid. Din.				
	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	m	cm	MN/m ³				
	25	11,25	11,25	0,03	5	0				
Pareti pesanti monostrato										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Rw:	dB	0,00	IEN							
Rw:	dB	0,00	Uni. Parma							
Rw:	dB	0,00	Austria							
Rw:	dB	0,00	Scheda tec.							
Pareti pesanti doppie										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Pareti leggere										
Rw:	dB	46,19	EN 12354							
Rw:	dB	40,31	IEN							
Rw:	dB	46,31	DIN							
Solai										
Rw:	dB	0,00	EN 12354							
Lw:	dB	0,00	EN 12354							
ΔLw	dB	0,00	EN 12354							

2.17. L'ILLUMINAZIONE NATURALE DEGLI AMBIENTI

2.17.1. LE COMPONENTI DELLA LUCE

Il calcolo dettagliato delle condizioni di illuminazione naturale nei diversi punti di un ambiente risulta un obiettivo assai ambizioso e solo l'utilizzo di modelli matematici complessi, in grado di tenere conto in maniera corretta sia della distribuzione di luminanza del cielo nelle diverse condizioni sia dei fenomeni di riflessione multipla della luce sulle superfici, permette la descrizione attendibile delle condizioni di illuminamento. E' vero d'altra parte che nella progettazione la conoscenza precisa punto per punto del campo luminoso naturale interno è indispensabile solo in casi particolari, ad esempio quando si affronti la progettazione illuminotecnica di ambienti espositivi o di grandi spazi con ampie vetrate etc., nella progettazione corrente, invece, è sufficiente garantire e verificare il raggiungimento di condizioni medie di illuminamento ritenute accettabili e valutare che l'estensione delle superfici trasparenti dell'involucro sia equilibrata. All'interno di un ambiente chiuso, l'illuminamento naturale nei diversi punti dello spazio è determinato dal flusso di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne, la volta celeste, il sole, i diversi elementi del paesaggio urbano prospiciente la finestra (campo diretto), e dal flusso di luce che raggiunge il punto considerato dopo le diverse riflessioni sugli elementi che costituiscono l'involucro edilizio: pareti, soffitto, pavimento, arredamento (campo diffuso).

In maniera schematica si può quindi considerare l'illuminamento di un punto interno ad un ambiente costituito da tre componenti: l'illuminamento conseguente alla luminanza della porzione di cielo vista attraverso le finestre, E_c , quello relativo alla luminanza dei diversi elementi di paesaggio esterno visti da un punto attraverso la finestra, E_{RE} , e infine quello dovuta alle riflessioni multiple sulle superfici interne, E_{RI} .

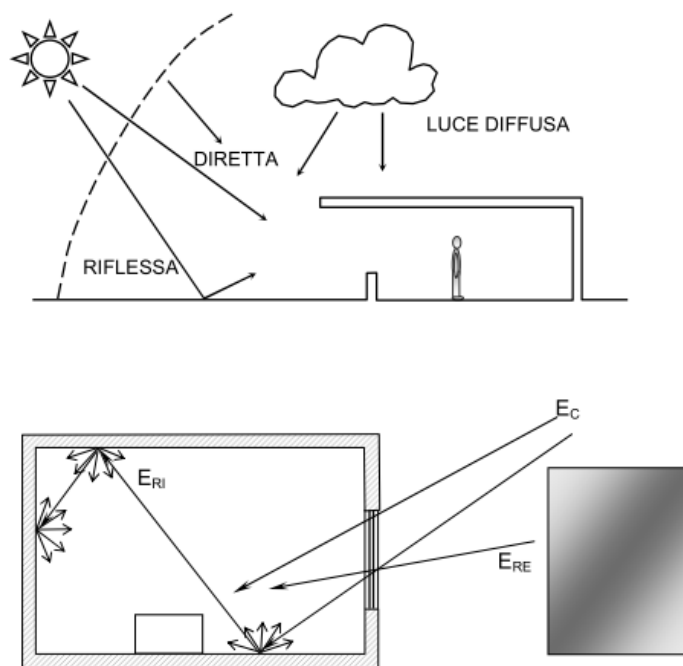


Figura 64 – Le tre componenti dell'illuminamento di una stanza

2.17.2. ASPETTI FISIologici E PSICOLOGICI DELLA LUCE NATURALE

Gli esseri umani hanno un basilare bisogno di aperture verso l'esterno nell'ambiente in cui vivono, perché queste costituiscono il mezzo attraverso cui si comunica con l'ambiente circostante e non solo il mezzo attraverso cui passa la luce. Esistono vari studi che dimostrano lo stretto legame tra la luce naturale e la produttività degli impiegati in edifici ad uso industriale e commerciale, legati alla sensazione di benessere che deriva dall'illuminazione naturale. La ricerca di Hollister sulle fabbriche svedesi, che furono costruite sottoterra nel 1946, senza alcun varco alla luce del giorno, stabilì che gli impiegati in queste condizioni assumono atteggiamenti estremamente negativi, accusano disturbi di varia natura e si assentano frequentemente. Ricerche condotte in Russia e Cecoslovacchia, dimostrano che gli occupanti di aziende senza finestre sono più frequentemente soggetti a disturbi fisici e psichici. Per gli edifici destinati ad uffici, gli studi condotti su lavoratori che operavano in ambienti senza finestre a Seattle, mostravano che circa il 90% esprime insoddisfazione per la mancanza di finestre ed il 55% crede che ciò possa influire negativamente su esse e sul loro lavoro. Da tali studi si evince che la mancanza di luce naturale ha un impatto negativo sul benessere sia fisico che mentale.

La presenza di luce naturale però, a seconda della quantità e della distribuzione qualitativa in un ambiente confinato, può produrre fenomeni compromettenti per il risparmio energetico ed il comfort termico e visivo degli utenti. Nel primo caso, relativo alla qualità termica e quindi energetica degli ambienti confinati, una significativa presenza di luce solare diretta può incrementare gli apporti di calore per irraggiamento che, in periodi estivi, possono provocare un discomfort climatico per gli utenti. Anzi, tali condizioni comportano solo un incremento ulteriore del fabbisogno energetico primario degli edifici, senza ottenere particolari prestazioni di regolazione climatica. Nel secondo caso, dal punto di vista fisiologico, in particolare in presenza di videoterminali, si può verificare il cosiddetto effetto velo, compromettendo la visibilità dello schermo; dal punto di vista psicologico, si può verificare il fenomeno dell'abbagliamento molesto che, per effetto di elevati contrasti di luminanze nel campo di vista, o per la presenza di sorgenti luminose particolarmente ampie a luminanza diffusa, a lungo andare può provocare mal di testa o riduzione della produttività del lavoratore.

2.17.3. LUCE NATURALE E RISPARMIO ENERGETICO

L'impiego di luce naturale consente di ridurre in modo significativo i consumi di energia elettrica e la richiesta di picco negli edifici commerciali. In un progetto mirato ad un efficace controllo energetico dell'edificio, la potenza installata per l'illuminazione artificiale deve essere studiata e definita in funzione della disponibilità di luce naturale. È possibile ottenere i livelli di illuminamento richiesti e distribuzioni di luminanze omogenee, utilizzando al meglio la luce naturale. In tal modo il risparmio energetico conseguito sarà frutto non solo di una minore potenza installata per l'illuminazione artificiale, ma anche di una minore quantità di apporti gratuiti di calore per dispersione dalle lampade, influenzando positivamente sul calcolo dei carichi frigoriferi dell'impianto di climatizzazione estiva. Nel capitolo 4 è proposto un modello energetico che confronta

i consumi dati per la climatizzazione e l'illuminazione degli ambienti al variare della superficie vetrata.

2.17.4. VALORI NORMATIVI PER LA VERIFICA DEGLI AMBIENTI

La Norma UNI EN 12464-1 sostituisce la precedente UNI 10380, avente come tema i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro in interni. In tale norma vengono analizzati i compiti visivi abituali, evidenziando le esigenze di comfort visivo e dando indicazioni sui livelli di illuminamento, uniformità e grado massimo di abbagliamento necessari alle diverse prestazioni visive, incluse quelle che comportano l'utilizzo di videoterminali.

In seguito verranno proposte alcune tabelle tratte dalla suddetta norma, che hanno contribuito ad indirizzarci verso una progettazione consapevole degli ambienti interni riguardo l'illuminazione.

Valori di luminanza dei locali:

Le luminanze di tutte le superfici sono importanti e sono determinate dal fattore di riflessione e dall'illuminamento sulle superfici.

Gli intervalli consigliati per i fattori di riflessione delle principali pareti di un locale sono:

- soffitto: da 0,6 a 0,9;
- pareti: da 0,3 a 0,8;
- piani di lavoro: da 0,2 a 0,6;
- pavimento: da 0,1 a 0,5.

Illuminamento delle zone circostanti ai luoghi di lavoro:

L'illuminamento delle zone immediatamente circostanti deve essere correlato all'illuminamento della zona del compito e dovrebbe fornire una distribuzione delle luminanze ben equilibrate nel campo visivo.

Variazioni troppo elevate dell'illuminamento attorno alla zona del compito, possono provocare affaticamento visivo e abbagliamento molesto.

L'illuminamento delle zone immediatamente circostanti può essere più basso di quello del compito ma non deve essere minore dei valori indicati nel prospetto 1.

Rapporto tra illuminamenti e uniformità nelle zone immediatamente circostanti e nelle zone del compito

Illuminamento del compito lx	Illuminamento delle zone immediatamente circostanti lx
≥750	500
500	300
300	200
≤200	E_{compito}
Uniformità: ≥0,7	Uniformità: ≥0,5

Abbagliamento molesto:

L'abbagliamento molesto, direttamente prodotto dagli apparecchi di un impianto d'illuminazione di interni, deve essere valutato utilizzando il metodo tabellare CIE dell'indice unificato di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating), basato sulla formula:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

dove:

- L_b è la luminanza di sfondo in $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$, calcolata con $E_{\text{ind}} \times \pi^{-1}$, dove E_{ind} è l'illuminamento verticale indiretto al livello dell'occhio dell'osservatore;
- L è la luminanza, in $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$, delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;
- ω è l'angolo solido, in steradiani, delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;
- p è l'indice di posizione di Guth, che è funzione dello scostamento angolare rispetto all'asse della visione, per ogni singolo apparecchio di illuminazione.

Elenco dei requisiti illuminotecnici:

Vengono riportate alcune delle tabelle riassuntive dei requisiti a seconda dei locali, in particolare quelle riguardanti gli ambienti di cui ci siamo occupati, dove:

E_m : Illuminamento medio sul piano (lux)

UGR: Abbagliamento molesto (adim.)

Ra: Resa del colore (scala da 1 a 100)

1.1

Zone di traffico				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR _L	R _a	Note
Aree di circolazione e corridoi	100	28	40	1.illuminazione a livello terreno 2.R _a e UGR simili alle zone adiacenti 3.150 lx se ci sono veicoli sul percorso 4. l'illuminazione delle uscite ed entrate fornirà una zona di transizione per evitare i cambiamenti improvvisi nell'illuminamento tra interno ed esterno di giorno o di notte 5.Fare attenzione all'effetto d'abbagliamento per pedoni ed autisti
Scale e scale mobili	150	25	40	
Rampe e banchine di carico	150	25	40	

1.4

Magazzini, celle frigorifere				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR _L	R _a	Note
Magazzini e stanze di stoccaggio	100	25	60	200 lx se occupato frequentemente
Zone d'imballaggio e spedizione	300	25	60	

1.5

Aree di stoccaggio				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR _L	R _a	Note
Corsie senza operatori	20	-	40	Illuminazione a livello terreno
Corsie con operatori	150	22	60	Illuminazione a livello terreno
Stazioni di controllo	150	22	60	

2.18

Produzione e lavorazione tessile				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Zone di lavoro e zone in bagni	200	25	60	
Cardatura, lavaggio, stiratura, stampaggio disegni, pettinatura, incollatura, taglio, filatura, filatura di canapa e iuta	300	22	80	
Filatura, piegatura, annaspatura, bobinatura	500	22	80	Previene il fenomeno dell'abbagliamento
Deformazione, tessitura, intrecciatura e ricamo	500	22	80	Previene il fenomeno dell'abbagliamento
Cucitura, ricamo di precisione	750	22	80	
Disegno manuale, modelli di disegno	750	22	90	$T_{cp} \geq 4000$ K
Finitura e tintura	500	22	80	
Locali essiccamento	100	28	60	
Stampa automatica	500	25	80	
Rifinitura, raccolta e decorazione	1000	19	80	
Ispezione colore, controllo del tessute	1000	16	90	$T_{cp} \geq 4000$ K
Riparazione invisibile	1500	19	90	$T_{cp} \geq 4000$ K
Produzione cappelli	500	22	80	

3

Uffici				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Archiviazione, copiatura, ecc	300	19	80	
Scrittura, battitura, lettura, trattamento dati	500	19	80	
Disegno tecnico	750	16	80	
Stazioni di lavoro CAD	500	19	80	
Sale conferenza e riunioni	500	19	80	L'illuminazione sarà regolabile
Zona reception	300	22	80	
Archivi	200	25	80	

4

Vendita al dettaglio				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Area vendite	300	22	80	Luminanza ed UGR dipendono dal tipo di negozio
Area magazzino	500	19	80	
Banco confezionamento	500	19	80	

5.1

Aree generali				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Hall	100	22	80	UGR soltanto se applicabile
Bagni, toilette	200	25	80	
Salotti	200	22	80	
Biglietterie	300	22	80	

5.3

Teatri, sale da concerto, cinema				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Sale prova, camerini	300	22	80	L'illuminazione degli specchi per il trucco saranno privi del fenomeno d'abbagliamento

7.1

Ambienti generici				
Tipo d'interno, uso o attività	E_m (lx)	UGR_L	R_a	Note
Sale d'attesa	200	22	80	illuminazione a livello terreno
Corridoi: di giorno	200	22	80	illuminazione a livello terreno
Corridoi: di notte	50	22	80	illuminazione a livello terreno
Stanze per uso diurno	200	22	80	illuminazione a livello terreno

Figura 65 - Elenco dei requisiti illuminotecnici

2.17.5. DIMENSIONAMENTO DELL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

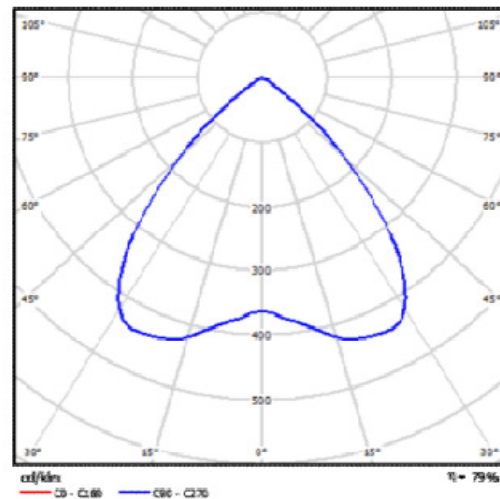
Nel dimensionamento dell'illuminazione artificiale è stato valutato, locale per locale, il livello di illuminamento da prevedere. Conoscendo la geometria dei singoli locali e l'emissione luminosa nelle varie direzioni dalle lampade scelte è stato quindi possibile pensare ad una corretta disposizione che soddisfacesse la quantità di lux minimi da garantire.

Sono state scelti tre tipi di lampade a seconda delle diverse esigenze luminose degli ambienti di cui si riporta un stralcio delle schede tecniche.

Philips 4ME550 P-WB 1xSON400W +9ME100 R GC D550 / Scheda tecnica apparecchio



Emissione luminosa 1:



Philips FBS297 2xPL-TT/4P57W HFP M / Scheda tecnica apparecchio



Emissione luminosa 1:

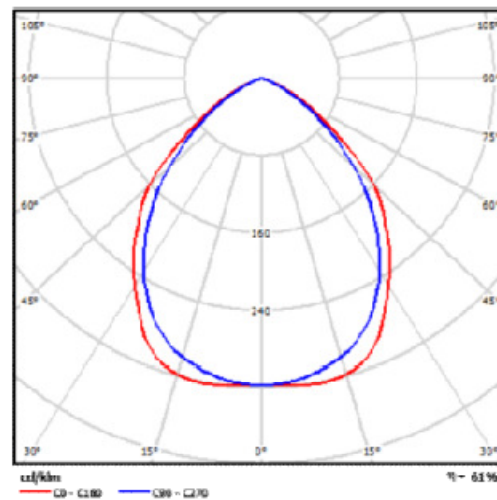


Figura 66 - Scheda tecnica lampada 1

Philips TPS498 D/I WH 1xTL-D58W HFP M2 / Scheda tecnica apparecchio



Emissione luminosa 1:

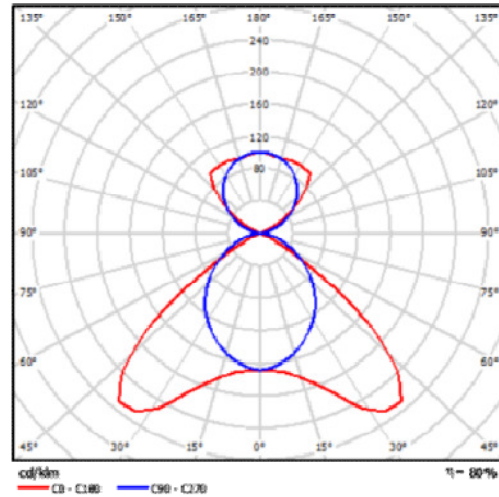


Figura 67 - Scheda tecnica lampada 2

La prima, come si vede dal grafico dell'emissione luminosa, può essere montata a grandi altezze perché risulta ancora potente a grande distanza. E' stata quindi impiegata nel magazzino e nell'ingresso, locali a doppia altezza.

La seconda invece è stata adottata per l'alloggio del custode, di aspetto più domestico rispetto all'ultima utilizzata in tutti gli uffici.

La disposizione delle lampade è stata svolta con l'aiuto del software Dialux.

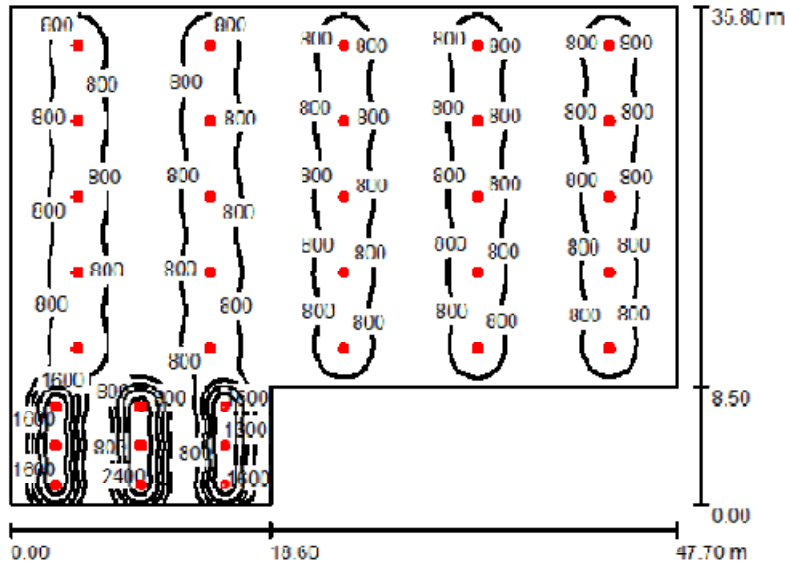
Il magazzino si è rivelato il locale più delicato dal punto di vista illuminotecnico, esso è caratterizzato da due diversi ambienti con esigenze molto diverse: il magazzino vero e proprio con una grande altezza interna e un livello di illuminamento necessario che non supera i 300 lux e la zona produzione in cui si svolgono attività di precisione ed in cui è importante un'ottima resa del colore, qui sono richiesti 1000 lux.

E' stata trovata quindi una soluzione che potesse risolvere entrambe queste necessità utilizzando in entrambe le zone la lampada Philips 4ME550, che, per la prima applicazione, può essere installata ad altezza elevata; per la seconda invece garantisce, ad un'altezza normale, un ottimo livello di illuminamento.

Di seguito è riportata la scheda illuminotecnica. Le schede per gli altri locali sono invece riportate nell'appendice.

Per l'analisi dei consumi per l'illuminazione artificiale al variare della superficie vetrata si rimanda al capitolo 4.

magazzino / Riepilogo



Altezza locale: 7.800 m, Fattore di manutenzione: 0.80

Valori in Lux, Scala 1:460

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Superficie utile	/	758	108	3997	0.143
Pavimento	20	744	156	2979	0.210
Soffitto	70	119	71	207	0.595
Pareti (6)	50	156	69	1659	/

Superficie utile:

Altezza: 0.850 m
 Reticolo: 128 x 128 Punti
 Zona margine: 0.000 m

Distinta lampade

No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	Φ [lm]	P [W]
1	34	Philips 4ME550 P-WB 1xSON400W +9ME100 R GC D550 (1.000)	48000	433.0

Totale: 1632000 14722.0

Potenza allacciata specifica. 10.03 W/m² – 1.33 W/m²/100 lx (Base. 1460.31 m²)

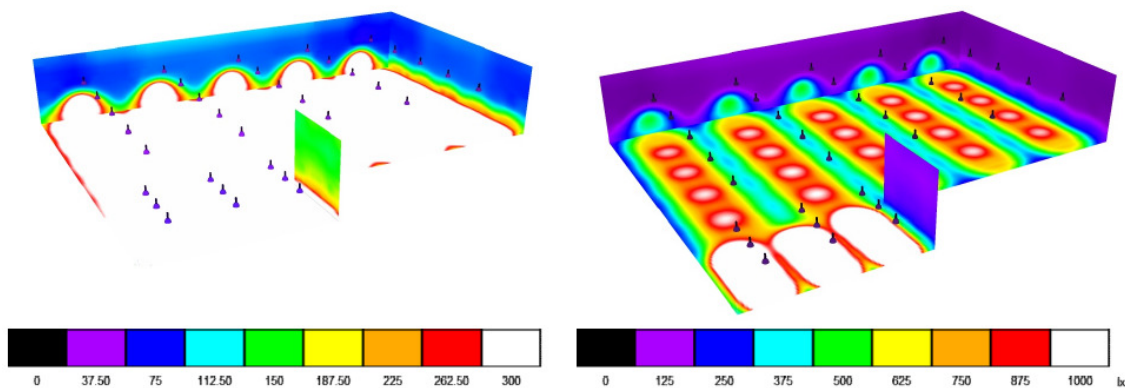


Figura 68 - Disposizione lampade nel magazzino

2.17.6. FATTORE DI LUCE DIURNA

Come detto precedentemente, la luce naturale è di estrema importanza nella progettazione. Per poter quantificare la disponibilità di luce naturale nell'edificio vi sono diversi metodi: alcuni utilizzano quantità luminose (flusso, illuminamento), altri sono basati su quantità relative (FLD).

Nonostante l'illuminamento esterno possa variare entro limiti molto vasti, si osserva che il rapporto tra l'illuminamento in uno specifico punto dell'ambiente interno e l'illuminamento esterno rimane costante. Questo rapporto è chiamato fattore di luce diurna, o FLD:

$$FLD = \frac{E_i}{E_e} [\%]$$

dove E_i è l'illuminamento interno e E_e è quello esterno.

Nel controllo dell'illuminazione interna si cerca, negli ambienti in cui si svolgono attività continuative, di non andare mai sotto il valore di FLD di 2%. Il valore di 5% è poi ottimale per i lavori su carta, mentre è leggermente eccessivo per l'utilizzo del computer.

Vi sono poi diversi altri limiti che variano a seconda della norma utilizzata. Noi prendiamo come riferimento la DIN 5035 (Artificial lighting of interior) che stabilisce come limite il rapporto

$$\frac{FLD_{min}}{FLD_{max}} > 0,16$$

Il calcolo è stato fatto per tutti i locali tramite il software Autodesk Ecotect, di seguito sono documentati i risultati di alcune aree del secondo piano:

OPEN SPACE P2:

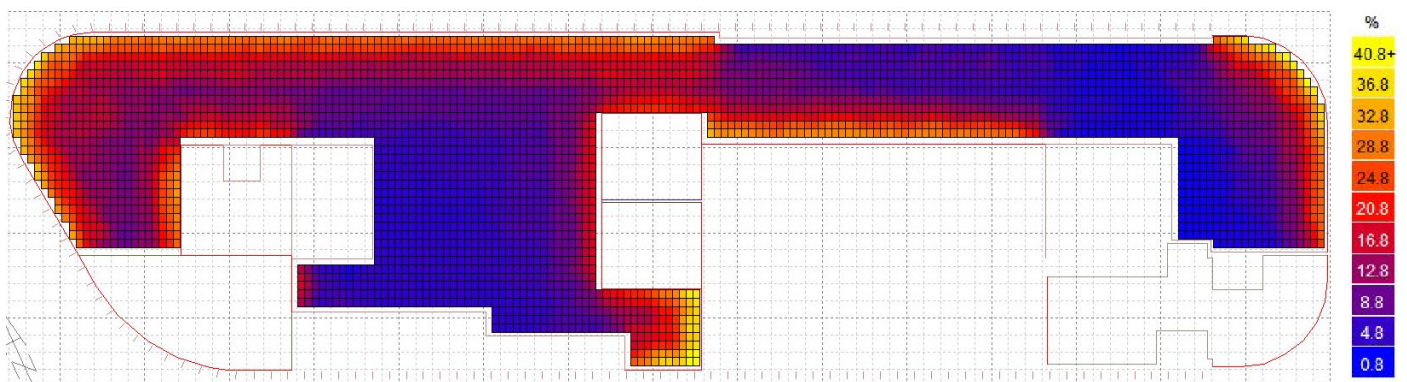


Figura 69 - FLD per il secondo piano uffici

FLD min: 4 %

FLD medio: 12,93 %

FLD max (negli ambienti utilizzati in modo continuativo): 25 %

FLD min/FLD max: 0,16

I limiti sono quindi rispettati.

Oltre a raggiungere i valori numerici attesi è stata posta molta attenzione alla relazione luce naturale-attività svolta: si tratta in questo caso dell'ultimo piano adibito ad uffici ed in cui possono accedere anche eventuali clienti; all'estrema destra si trova la spa. Procedendo da sinistra verso destra si incontra prima la "zona living" in cui vi è una zona reception ed una sala d'attesa, è uno dei luoghi in cui è importante tener alta l'immagine dell'azienda, sono state quindi scelte grandi vetrate ed un elevato livello di illuminazione.

Spostandosi a destra si incontra un grande open space in cui è importante tenere un buon livello di illuminazione, ma che non superi il 5% perché vi sono presenti delle postazioni computer il livello del 4% risulta quindi ideale. E' importante inoltre avere una certa uniformità della distribuzione per evitare abbagliamenti, la profondità del locale risolve allora questa necessità allontanando le postazioni dalle vetrate in cui vi può essere abbagliamento.

Proseguendo ancora si trova l'ultima zona lavorativa che si affaccia sul giardino interno. In questa area non vi sono postazioni computer, ma vengono eseguite alcune verifiche sui prodotti tessili finiti, è quindi importante avere un elevato livello di illuminazione, le postazioni sono quindi disposte vicino alle aperture vetrate in cui lo FLD si avvicina al valore di 20%.

2.18. ACCESSIBILITA' DEI LOCALI

Quando si parla di edifici pubblici, soprattutto quelli dove il passaggio di persone è piuttosto elevato, non si può fare a meno di pensare alle difficoltà che certe categorie di persone potrebbero incontrare durante la loro permanenza. Spesso quando si progetta ci si dimentica, o si fa finta di dimenticarsi, che non tutti abbiamo le stesse abilità nel movimento e che spesso cose che a noi sembrano molto semplici possono risultare addirittura insormontabili per qualcun altro. In questo senso è bene pensare a delle strategie che consentano a chiunque di usufruire dei luoghi di lavoro, di svago o semplicemente di passaggio in maniera tale da non incontrare ostacoli o limitazioni. Rispettare queste norme non rappresenta solo un obbligo formale ai sensi di legge per il progettista, bensì un obbligo civile e morale.

2.18.1. IL QUADRO NORMATIVO

La legge italiana ci viene in aiuto presentando alcune norme che, se rispettate, consentono di limitare notevolmente i disagi per alcune categorie di persone. Principalmente ci si riferisce a:

- D.P.R 384 del 1978, *Norme tecniche per le strutture pubbliche d'uso collettivo*.
- D.M. 236 del 1989
- Allegati al D.M. del 1989

Volendo riassumere i principali contenuti del **D.P.R 384/78**, possiamo ricordare le norme riguardanti:

1. Accessi e percorsi orizzontali

Porte: 85 cm di luce netta minima, la maniglia ad un'altezza di 90 cm

Corridoi e passaggi: 150 cm larghezza minima. Devono essere assenti variazioni di livello, che possono essere superate mediante rampe.

2. Locali igienici

Dimensioni: Minime dimensioni 180 cm X 180 cm

Porte: 85 cm luce netta minima, apertura verso l'esterno

WC: Posto nella parte opposta all'accesso. L'asse della tazza deve essere posto ad una distanza minima di 140 cm dalla parete laterale sinistra e ad una distanza minima di 40 cm dalla parete laterale destra.

Lavabo: Deve essere posto preferibilmente nella parete opposta a quella cui è fissata la tazza WC, lateralmente all'accesso. Il piano lavabo deve essere posto ad un'altezza di 80 cm dal pavimento. Il lavabo deve essere del tipo a mensola. Le tubazioni di carico e scarico dell'acqua devono essere sotto traccia per evitare ingombri sotto il lavabo. La rubinetteria deve avere il comando a leva.

Specchio: Deve essere posto sopra il lavabo in una zona compresa tra 90 cm e 170 cm d'altezza.

Corrimano: Il locale deve essere provvisto di un corrimano orizzontale continuo fissato lungo l'intero perimetro del locale (escluso lo spazio interessato dal lavabo e dalla porta). Il corrimano deve essere fissato all'altezza di 80 cm dal pavimento e ad una distanza di 5 cm dalla parete. Altro corrimano deve essere previsto all'altezza di 80 cm fissato nel lato interno della porta per consentire l'apertura a spinta verso l'esterno. Due corrimani verticali fissati al pavimento e al soffitto: il primo deve essere posto, a sinistra (per chi entra) della tazza WC ad una distanza dall'asse di 40 cm e dalla parete posteriore di 15 cm; il secondo, deve essere posto a destra (per chi entra) della tazza WC a 30 cm dal bordo anteriore della tazza e di 15 cm dalla parete laterale destra. I corrimani devono essere realizzati in tubo di acciaio da un pollice, rivestito e verniciato con materiale plastico.

Campanello elettrico: Deve essere del tipo a cordone, posto in prossimità della tazza WC.

Per quanto riguarda invece di **D.M. 236/89**, introduce per la prima volta i concetti di accessibilità, visibilità e adattabilità: sono criteri progettuali che discriminano in maniera precisa il tipo di intervento a seconda delle tipologie abitative.

a) **ACCESSIBILITA'**

Rappresenta il grado più alto di utilizzo dello spazio costruito. Per accessibilità s'intende la possibilità, anche per persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, di raggiungere l'edificio e le sue singole unità immobiliari, di entrarvi agevolmente e di fruirne spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia. La normativa prevede che debba essere garantita l'accessibilità:

- Per i percorsi esterni e le parti comuni di tutti gli edifici e, inoltre, che sia accessibile almeno il 5% degli alloggi di edilizia residenziale sovvenzionata (con un minimo di un'unità immobiliare per ogni intervento);
- Per gli ambienti destinati ad attività sociali (come quelle scolastiche, sanitarie, culturali, sportive);
- Per gli edifici sedi di aziende o imprese soggette alla normativa sul collocamento obbligatorio;

Nelle strutture destinate ad attività sociali e limitatamente ai servizi igienici, il requisito s'intende soddisfatto se almeno un servizio igienico per ogni livello utile dell'edificio, è accessibile alla persona su sedia a rotelle. Negli edifici sedi di aziende e imprese, invece, deve poter essere accessibile almeno un servizio igienico per ogni nucleo di servizi igienici previsto.

b) VISITABILITA'

Con questo termine si vuole indicare un più ridotto grado di fruibilità dello spazio, limitando l'accessibilità ad alcune parti dell'edificio (quelle di relazione e i locali igienici). Ogni unità immobiliare, qualsiasi sia la sua destinazione deve essere visitabile in particolare gli edifici residenziali (di cui non sia già stata richiesta l'accessibilità). Questo criterio si ritiene soddisfatto se:

- Una persona in carrozzina può raggiungere gli alloggi; accedere alla zona soggiorno pranzo e ad un servizio igienico.
- Nei luoghi di lavoro; sono visitabili gli spazi in cui il cittadino entra in rapporto con la funzione ivi svolta. Nel locale igienico, la persona in carrozzina può arrivare in prossimità del lavabo e del WC (anche senza l'accostamento laterale per la tazza WC e frontale per il lavabo).

c) ADATTABILITA'

Per adattabilità si intende la possibilità di modificare nel tempo lo spazio costruito a costi limitati allo scopo di renderlo completamente ed agevolmente fruibile anche da parte di persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale. Questo criterio non stabilisce pertanto dei requisiti dimensionali da attuare al momento, quanto la possibilità di garantire in futuro la completa accessibilità. Detto criterio si applica a tutti gli edifici per i quali non sia già richiesta l'accessibilità o la visitabilità. Nei casi di adeguamento è consentita l'eliminazione del bidet e la sostituzione della vasca con una doccia a pavimento al fine di ottenere anche senza modifiche sostanziali del locale, uno spazio laterale di accostamento alla tazza WC e di definire sufficienti spazi di manovra.

Dopo aver definito queste tre categorie il decreto rivede alcune prescrizioni già contenute nel D.P.R 384/78, aggiornandole o modificandole. Il rispetto delle seguenti norme garantisce l'accessibilità dell'edificio:

1. Accessi e percorsi orizzontali:

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

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

2. Servizi igienici

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

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

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

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

Corrimano: Negli alloggi accessibili di edilizia residenziale sovvenzionata deve essere prevista l'attrezzabilità con maniglioni e corrimano orizzontali e/o verticali in vicinanza degli apparecchi: il tipo e le caratteristiche devono essere conformi alle specifiche esigenze riscontrabili successivamente all'atto dell'assegnazione dell'alloggio e posti in opera in tale occasione. Nei servizi igienici dei locali aperti al pubblico è necessario prevedere e installare il corrimano in prossimità della tazza WC, posto ad altezza di cm 80 dal calpestio, e di diametro cm 3/4; se fissato a parete deve essere posto a cm 5 dallo stesso.

2.18.2. CONCLUSIONI

Essendo passati non pochi anni dall'emanazione delle suddette leggi, è facile immaginare come il progresso tecnologico abbia consentito di affrontare questo tema elaborando soluzioni anche diverse da quelle minime previste. In generale è molto importante l'uso del buon senso e l'attitudine a prevedere l'eliminazione di ogni barriera architettonica, anche quelle non direttamente contemplate nei decreti. Nel nostro caso, avendo rispettato le prescrizioni previste, possiamo affermare che il nostro edificio risulta accessibile in ogni sua parte.

2.19. PREVENZIONE ANTINCENDIO:

Uno dei requisiti più importanti dal punto di vista della sicurezza, soprattutto per luoghi affollati e frequentati da molti lavoratori, è sicuramente quello della sicurezza antincendio. In fase progettuale è bene prevedere adeguate uscite di sicurezza, percorsi segnalati, luoghi sicuri e attrezzature adeguate a fronteggiare eventuali emergenze. Esistono svariate normative a cui fare riferimento, tra cui possiamo ricordare il D.M. del 27 Luglio 2010 “*approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle attività commerciali con superficie superiore a 400 mq*”, il D.M. del 09/03/2007 “*Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei Vigili del Fuoco*” con la relativa circolare integrativa del 28 marzo 2008 e il D.M. del 10/03/1998 “*La gestione della sicurezza antincendio*”. I testi sopracitati contengono indicazioni riguardanti il calcolo del carico d’incendio a seconda dell’attività svolta e della struttura impiegata e le relative classi di resistenza da rispettare, inoltre contengono gli obblighi da rispettare in fase progettuale per quanto riguarda la collocazione e il dimensionamento dei percorsi e delle uscite di sicurezza, nonché i controlli, le misure preventive, i dispositivi di sicurezza e le procedure di emergenza.

Per prima cosa, cerchiamo di valutare a quale categoria di rischio di incendio corrisponde il nostro ambiente. Le categorie sono tre e corrispondono a:

1) LUOGHI DI LAVORO A RISCHIO DI INCENDIO BASSO

Si intendono a rischio di incendio basso i luoghi di lavoro o parte di essi, in cui sono presenti sostanze a basso tasso di infiammabilità e le condizioni locali e di esercizio offrono scarse possibilità di sviluppo di principi di incendio ed in cui, in caso di incendio, la probabilità di propagazione dello stesso è da ritenersi limitata.

2) LUOGHI DI LAVORO A RISCHIO DI INCENDIO MEDIO

Si intendono a rischio di incendio medio i luoghi di lavoro o parte di essi, in cui sono presenti sostanze infiammabili c/o condizioni locali e/o di esercizio che possono favorire lo sviluppo di incendi, ma nei quali, in caso di incendio, la probabilità di propagazione dello stesso è da ritenersi limitata.

3) LUOGHI DI LAVORO A RISCHIO DI INCENDIO ELEVATO

Viste le indicazioni contenute nel D.M. del 10/03/1998 abbiamo deciso di catalogare il nostro edificio come luogo di lavoro a rischio di incendio medio.

2.19.1. LUNGHEZZA DEI PERCORSI DI FUGA

Ai fini del decreto, nello stabilire se le vie di uscita sono adeguate, occorre seguire i seguenti criteri:

a) ogni luogo di lavoro deve disporre di vie di uscita alternative, ad eccezione di quelli di piccole dimensioni o dei locali a rischio di incendio medio o basso;

b) ciascuna via di uscita deve essere indipendente dalle altre e distribuita in modo che le persone possano ordinatamente allontanarsi da un incendio;

c) dove è prevista più di una via di uscita, la lunghezza del percorso per raggiungere la più vicina uscita di piano non dovrebbe essere superiore ai valori sottoriportati:

- 15 ÷ 30 metri (tempo max. di evacuazione 1 minuto) per aree a rischio di incendio elevato;

- 30 ÷ 45 metri (tempo max. di evacuazione 3 minuti) per aree a rischio di incendio medio.

- 45 ÷ 60 metri (tempo max. di evacuazione 5 minuti) per aree a rischio di incendio basso.

d) le vie di uscita devono sempre condurre ad un luogo sicuro;

e) i percorsi di uscita in un'unica direzione devono essere evitati per quanto possibile.

2.19.2. NUMERO E DIMENSIONE DELLE USCITE DI SICUREZZA

Quando una sola uscita di piano non è sufficiente, il numero delle uscite dipende dal numero delle persone presenti (affollamento) e dalla lunghezza dei percorsi stabilita al punto 3.3, lettera c). Per i luoghi a rischio di incendio medio o basso, la larghezza complessiva delle uscite di piano deve essere non inferiore a:

$$L \text{ (metri)} = A/50 \times 0,60$$

in cui.

- "A " rappresenta il numero delle persone presenti al piano (affollamento);

- il valore 0,60 costituisce la larghezza (espressa in metri) sufficiente al transito di una persona (modulo unitario di passaggio);

- 50 indica il numero massimo delle persone che possono defluire attraverso un modulo unitario di passaggio, tenendo conto del tempo di evacuazione.

Il valore del rapporto $A/50$, se non è intero, va arrotondato al valore intero superiore. La larghezza delle uscite deve essere multipla di 0,60 metri, con tolleranza del 5%. La larghezza minima di una uscita non può essere inferiore a 0,80 metri (con tolleranza del 2%) e deve essere conteggiata pari ad un modulo unitario di passaggio e pertanto sufficiente all'esodo di 50 persone nei luoghi di lavoro a rischio di incendio medio o basso.

PIANO	AFFOLLAMENTO "A"	LARGHEZZA MIN. PERC.	NUM. USCITE
PT DIREZIONE	150	1,8	1x1,2m 1x0,8m
P1 DIREZIONE	200	2,4	2x1,2m
P2 DIREZIONE	80	0,96	1x1,2m
PT MAGAZZINO	50	0,6	1x0,8
P1 MAGAZZINO	40	0,48	1x0,8

2.19.3. NUMERO E LARGHEZZA DELLE SCALE

Il principio generale di disporre di vie di uscita alternative si applica anche alle scale. Possono essere serviti da una sola scala gli edifici, di altezza antincendio non superiore a 24 metri (così come definita dal D.M. 30 novembre 1983), adibiti a luoghi di lavoro con rischio di incendio basso o medio, dove ogni singolo piano può essere servito da una sola uscita. Per tutti gli edifici che non ricadono nella fattispecie precedente, devono essere disponibili due o più scale, fatte salve le deroghe previste dalla vigente normativa.

Se le scale servono un solo piano al di sopra o al di sotto del piano terra, la loro larghezza non deve essere inferiore a quella delle uscite del piano servito. Se le scale servono più di un piano al di sopra o al di sotto del piano terra, la larghezza della singola scala non deve essere inferiore a quella delle uscite di piano che si immettono nella scala, mentre la larghezza complessiva è calcolata in relazione all'affollamento previsto in due piani contigui con riferimento a quelli aventi maggior affollamento.

Nel caso di edifici contenenti luoghi di lavoro a rischio di incendio basso o medio, la larghezza complessiva delle scale è calcolata con la seguente formula:

$$L \text{ (metri)} = A^*/50 \times 0,60$$

in cui:

A* = affollamento previsto in due piani contigui, a partire dal 1° piano f.t., con riferimento a quelli aventi maggior affollamento, nel nostro caso P1 e P2 della zona direttiva.

AFFOLLAMENTO MAX.	LARGHEZZA MIN. SCALE
280	3,36

Questo vuol dire che abbiamo bisogno di almeno tre moduli da 1,2 metri di larghezza per servire questi due piani. Tutte queste prescrizioni risultano rispettate.

I valori di affollamento sono stati stimati secondo ragionevoli previsioni di frequentazione, dato che usando i coefficienti di affollamento standard relazionati alla dimensione dei locali ricaveremmo un risultato estremamente sovrastimato. Ad esempio, secondo i parametri standard, la zona eventi dovrebbe essere calcolata secondo un affollamento di 600 persone, il che rappresenta una situazione inverosimile. Questo ragionamento vale per tutti i piani dell'edificio.

Per la rappresentazione grafica dei percorsi e delle uscite di sicurezza si rimanda alla consultazione delle piante antincendio.

Parte Terza

Strategie per il risparmio energetico

3. INTRODUZIONE

I contenuti di questo capitolo tratteranno le tecniche utilizzate per ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio da fonti non rinnovabili, per gestire al meglio gli apparecchi da cui deriva la produzione di energia termica e per una gestione accurata delle risorse idriche. Per quanto riguarda l'energia elettrica analizzeremo il funzionamento dell'impianto fotovoltaico, cercando di capire come possa essere progettato al meglio, in modo da raggiungere la massima producibilità possibile al minimo dei costi e soprattutto analizzandone il meccanismo di incentivazione, così da ricavarne il tempo di rientro dalle spese sostenute per l'investimento e il guadagno negli anni a venire. Oltre a questo ricordiamo l'utilizzo dell'impianto a pannelli solari per quanto riguarda la produzione di ACS, in modo da soddisfare i requisiti normativi e abbatterne i costi. Da non dimenticare i sistemi per il recupero delle acque piovane e il riutilizzo delle acque grigie, adottati per diminuire per quanto possibile l'utilizzo dell'acqua potabile proveniente dalla rete idrica. Queste tecniche non solo ci consentono di contenere le spese, ma soprattutto garantiscono il rispetto dell'ambiente e delle sue risorse, come dimostreremo successivamente mediante la certificazione LEED.

In realtà le strategie per il risparmio energetico non sono da ricercare solo in questo capitolo; ogni parte dell'edificio è progettata a tale scopo e le relative tecniche sono contenute nei capitoli dedicati. Qui abbiamo voluto dare risalto a quelle che, normalmente, vengono riconosciute come direttamente responsabili dei maggiori risultati.

3.1. L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Nel corso degli anni il costante aumento del fabbisogno energetico ha costretto l'uomo a cercare soluzioni sempre migliori per quanto riguarda il suo approvvigionamento; la tecnologia fotovoltaica ad oggi è una delle risposte più diffuse al bisogno di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili e sta avendo una larga diffusione, specie negli ultimi anni, grazie anche al sistema di incentivazione statale che sopperisce al suo più grande difetto: il costo. Questa soluzione consente di produrre energia sfruttando il sole, e quindi consentendo di risparmiare combustibile fossile ed emissioni nocive. Tutto questo sfruttando spesso e volentieri superfici che altrimenti rimarrebbero inutilizzate, come i tetti.

3.1.2. IL FUNZIONAMENTO DEL PANNELLO FOTOVOLTAICO

L'energia solare è la fonte di energia primaria per eccellenza. Da essa provengono indirettamente o direttamente quasi tutte le fonti di energia usate dall'uomo. Ogni anno il sole irradia sulla terra 19.000 miliardi di TEP (Tonnellate Equivalenti Petrolio) mentre la domanda annua di energia è di circa 8 miliardi di TEP. La radiazione solare è l'energia elettromagnetica emessa dai processi di fusione dell'idrogeno contenuto nel sole. L'intensità e la distribuzione spettrale della radiazione solare che arriva sulla superficie terrestre dipendono dalla composizione dell'atmosfera. L'irraggiamento extraterrestre ("costante solare") è di circa 1.367 W/m^2 , che colpiscono ogni secondo la nostra terra. L'irraggiamento che supera l'atmosfera e colpisce la superficie terrestre è funzione di latitudine e lunghezza d'onda: per la nostra posizione è stato ricavato il seguente grafico:

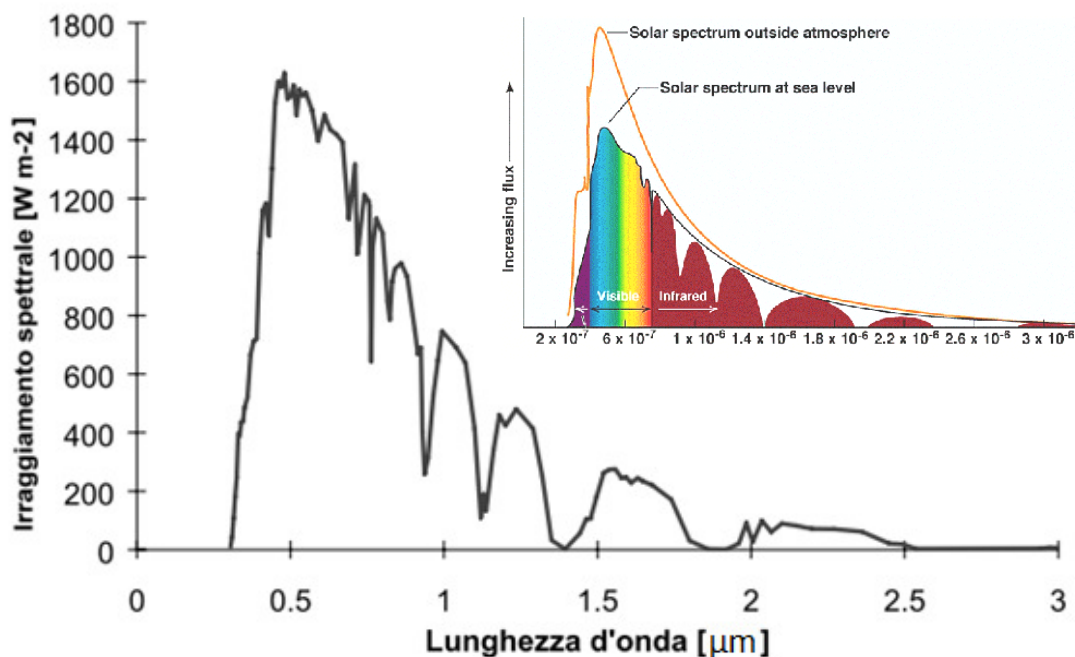


Figura 70 - Grafico dell'irraggiamento in funzione della lunghezza d'onda

L'intensità massima dell'energia solare è compresa tra $0,5$ e $0,55 \mu\text{m}$. La zona d'assorbimento dell'irraggiamento solare utile per le celle fotovoltaiche di silicio

crystallino comincia a $0,35 \mu\text{m}$ fino a tutto l'infrarosso compreso ($10 \mu\text{m}$). In realtà, ogni cella solare non riesce a essere efficiente su tutto lo spettro solare, ma solo in una parte specifica (questo è dovuto al materiale utilizzato e alla struttura fisica dello stesso), provocando il basso rendimento delle celle solari stesse.

L'elemento base di un impianto fotovoltaico è la **cella fotovoltaica**, dalla forma quadrata e dalle dimensioni di circa $12 \times 12 \text{ cm}$. Il suo compito consiste nella conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica. Tale fenomeno avviene grazie a un materiale semiconduttore, molto spesso silicio. Quando un fotone dotato di sufficiente energia viene assorbito dalla cella, nel materiale semiconduttore di cui essa è costituita si creano una coppia di cariche elettriche di segno opposto, un "elettrone" (cioè una carica di segno negativo) ed una "lacuna" (carica positiva). Tali cariche danno luogo a una circolazione di corrente quando il dispositivo viene connesso ad un carico. La corrente è tanto maggiore quanto maggiore è la quantità di luce incidente. L'efficienza di conversione, intesa come percentuale di energia luminosa trasformata in energia elettrica disponibile per celle commerciali al silicio è in genere compresa tra il 12% e il 17%, mentre realizzazioni speciali di laboratorio hanno raggiunto valori del 24%. Le celle fotovoltaiche collegate tra loro formano un **modulo fotovoltaico**. I moduli fotovoltaici, collegati tra loro in serie formano le **stringhe fotovoltaiche** che a loro volta vengono collegate in parallelo a formare il **campo fotovoltaico**.

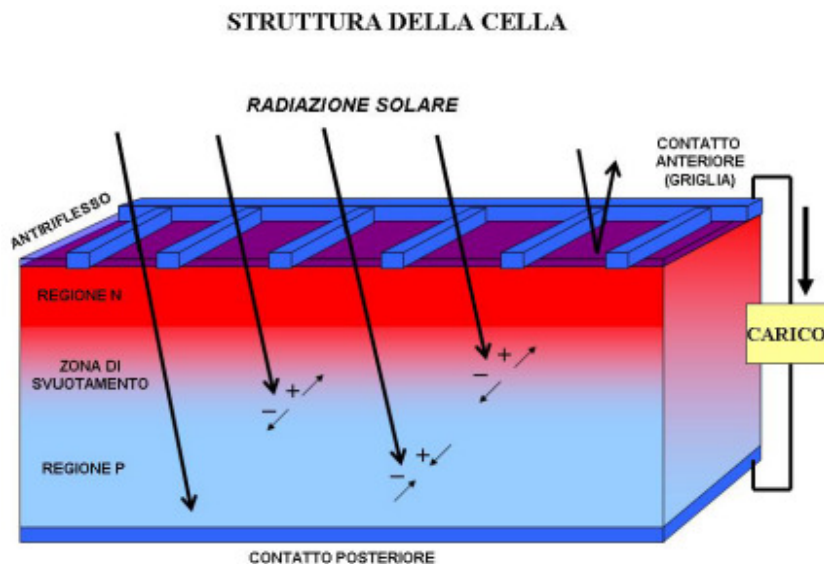


Figura 71 - La cella fotovoltaica

Principalmente si differenziano basilarmente tre tipi di celle a seconda della struttura del cristallo: monocristalline, policristalline e amorphe. Per la produzione di **celle monocristalline** si utilizzano semiconduttori dotati di una struttura altamente pura che ne determina buona parte del loro costo. Dalla massa fusa di silicio si tagliano delle barre monocristalline che vengono in seguito tagliate in sottili placche. Questo metodo di produzione garantisce un assorbimento della luce e la raccolta delle cariche prodotte ottimale. La produzione di **celle policristalline** è meno onerosa: In questo caso la massa di silicio viene fusa in blocchi, i quali infine vengono tagliati a dischetti. Durante il processo di solidificazione si formano delle strutture cristalline di differenti dimensioni, che presentano sulla loro superficie alcuni difetti. Di conseguenza, il rendimento di questo tipo di celle è inferiore al precedente. Si parla di **celle a silicio amorfo** o **celle a film sottile** quando su un substrato di vetro o di altro materiale

viene spruzzato un sottile strato di silicio. Lo spessore dello strato di silicio è inferiore a $1\ \mu\text{m}$ (spessore di un capello umano $50\text{-}100\ \mu\text{m}$): ne risulta un costo del materiale molto basso e di conseguenza un basso costo di produzione. Questo tipo di cellula ha il rendimento minore, ma si adatta anche in caso di irradiazione diffusa. Le cellule amorfe vengono generalmente utilizzate per alimentare apparecchi portatili o come elementi di facciate fotovoltaiche.

	Si monocristallino	Si multicristallino	Si amorfo	GaAs	CdTe	CIS (CuInSe ₂)
Rendimento cella	14-17%	12-14%	4-6% singolo 7-10% tandem	32,5% (lab.)	10%	12%
Vantaggi	Alto rendimento stabile tecnologia affidabile	< rendimento costo < fabbricazione più semplice miglior occupazione dello spazio	costo < < necessità di materiale ed energia nella fabbricazione buon rendimento con basso irraggiamento flessibile	Alta resistenza alle alte temperature (ok per i concentratori)	Basso costo	Molto stabile
Svantaggi	Costo E grigia Quantità di materiale necessaria alla fabbricazione Complessità	Complessità Sensibilità alle impurità	Basso rendimento Degradazione iniziale Stabilità negli anni	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità (Cd)

Figura 72 - Confronto tra diversi tipi di celle fotovoltaiche

Il compito dell'**inverter**, denominato anche gruppo di conversione, è quello di trasformare l'energia elettrica prodotta sotto forma di corrente continua, in corrente alternata pronta per essere immessa direttamente nella rete elettrica. Esso deve essere idoneo a supportare il trasferimento della corrente prodotta dall'impianto, dal generatore fotovoltaico alla rete di distribuzione, rispettando quindi sia i requisiti tecnico normativi, sia quelli di sicurezza.

3.1.3. IL PROGETTO IMPIANTISTICO

Il nostro edificio ha disponibilità completa della copertura dell'ala uffici per quanto riguarda il posizionamento dell'impianto. La superficie totale al netto dei lucernari è di 1150m², ma considerando che le lame che circondano il nostro edificio e il dislivello attribuibile ai lucernari gettano ombra sulla superficie, abbiamo deciso di limitare l'area ricoperta dai pannelli in modo da risentire meno dell'ombreggiamento. Non risulta conveniente infatti posizionare dei pannelli, anche se pochi, in ombra: questo perché il collegamento in serie dei vari moduli causa lo spegnimento dell'intera stringa quando anche solo uno di essi vada in ombra e quindi non produca energia. Questa scelta ci preclude, come vedremo in seguito, l'utilizzo di un sistema fotovoltaico integrato architettonicamente, che avrebbe permesso un incentivo maggiore sull'energia prodotta. Dopo aver scelto il tipo di tecnologia e di pannello, quindi conoscendone la potenza e le dimensioni, abbiamo posizionato quanti più moduli possibile sul tetto, evitando le zone più sfavorevoli. Questo ci ha permesso di calcolare la superficie occupata e la potenza di picco, fondamentale per capire quanto l'impianto sia in grado di produrre realmente.

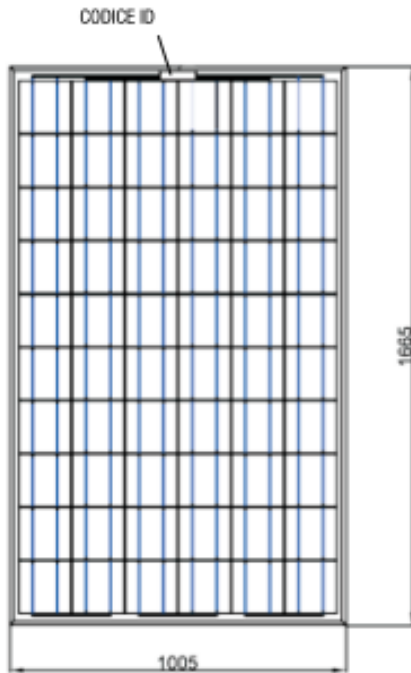
3.1.4. SCELTA DEL TIPO DI PANNELLO

Viste le varie alternative che esistono in commercio abbiamo deciso di fare alcune prove di disposizione per capire quale risultasse migliore secondo le nostre necessità. Abbiamo confrontato le schede tecniche di vari prodotti e abbiamo confrontato la potenza nominale raggiungibile dalle diverse soluzioni, ricavandone queste conclusioni:

- Usando un pannello in **film sottile di silicio amorfo da 140W** di dimensione 37x540 si riesce ad ottenere una producibilità massima pari a **meno di 30 kWp**
- Usando un pannello appositamente studiato per il sistema di copertura da noi utilizzato, di **silicio policristallino da 115W** di dimensione 55x164 si riesce ad ottenere una producibilità massima pari a **circa 60 kWp**
- Usando un pannello in **silicio policristallino da 240W** di dimensione 102x166 si riesce ad ottenere una producibilità massima pari a **circa 89,5 kWp**
- Usando un pannello in **silicio policristallino da 290W** di dimensione 102x199 si riesce ad ottenere una producibilità massima pari a **circa 90,7 kWp**

Le varie disposizioni sono state fatte tenendo conto delle parti ombreggiate, dell'orditura del tetto metallico e prendendo come riferimento la migliore tra le possibili alternative di posa. In conclusione abbiamo deciso di utilizzare il pannello in **silicio policristallino da 240W**, essendo quello che riesce a raggiungere la potenza più alta al prezzo più contenuto. L'impiego dei pannelli da 290W non è giustificato dato lo scarso miglioramento in termini di potenza rispetto al loro costo. A questo abbiamo aggiunto il fatto di scegliere un pannello i cui componenti sono per la maggior parte **prodotti nell'UE e quindi godono della maggiorazione del 10% sulla tariffa incentivata dal GSE**. In aggiunta all'impianto tradizionale abbiamo deciso di collocare una vetrata fotovoltaica sul lucernario del magazzino, che oltre a produrre energia garantisce un ombreggiamento del 60%. Il modulo in questione è un pannello con celle in **silicio policristallino da 220W**.

MODULO FOTOVOLTAICO PX60



CARATTERISTICHE FISICHE

	Con cornice	Laminato *
Lunghezza	1.665 mm	1.657 mm
Larghezza	1.005 mm	997 mm
Spessore modulo	43 mm	5 mm
Spessore vetro	4 mm	4 mm
Area	1,67 m ²	1,65 m ²
Superficie attiva	1,46 m ²	1,46 m ²
Peso	22 kg	19,5 kg
Carico massimo superficiale	540 kg/m ²	240 kg/m ²

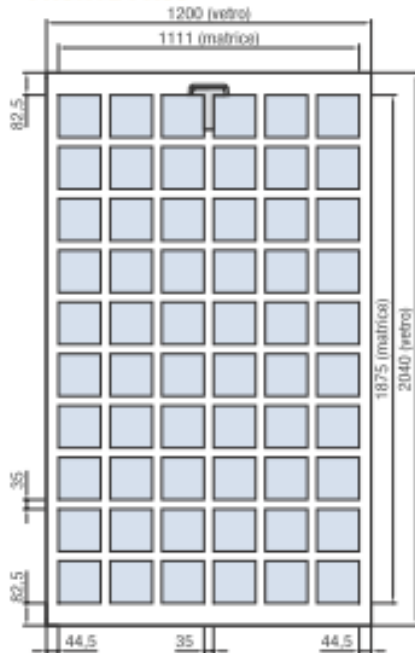
CARATTERISTICHE ELETTRICHE

		PX60-230	PX60-235	PX60-240*
Potenza nominale modulo [-0 +4,99 Wp]	Wp	230	235	240
Tensione alla massima potenza [Vmpp]	V	29,0	29,2	29,3
Corrente alla massima potenza [Impp]	A	7,93	8,05	8,20
Tensione a circuito aperto [Voc]	V	37,7	37,8	37,9
Corrente di corto circuito [Isc]	A	8,54	8,58	8,63
Efficienza modulo [%]	area modulo	13,75	14,04	14,34
	superficie attiva	15,75	16,09	16,44
Resa modulo	W / m ²	137	140	143
Area per kWp	m ² / kWp	7,3	7,1	7,0
Tensione massima di sistema	Voc	1000	1000	1000
Massima corrente inversa	A	20	20	20

Figura 73 - Scheda tecnica pannello PX60-240

MODULO FOTOVOLTAICO PX SERIE HT - VETRO/VETRO

FRONTE PX60



Lunghezza	2040 mm
Larghezza	1200 mm
Spessore	16 mm
Area	2,46 m ²
Peso	85 kg
Trasparenza	40%
CELLE SOLARI	SILICIO MULTICRISTALLINO
Dimensioni	156 mm x 156 mm
Forma	Quadrata
Quantità	60
Numero celle per stringhe	10 x 6
Vetro anteriore	Extrachiario, temprato, spessore 6 mm
Incapsulante	PVB Solar
Vetro posteriore	Float, spessore 8 mm
Scatola di giunzione	Classe di protezione IP65 con N° 3 diodi di by-pass, inclusi n° 2 cavi Ø 4 mm ² con connettori polarizzati in classe IP67

CARATTERISTICHE ELETTRICHE

		PX60-HT 200	PX60-HT 210	PX60-HT 220
Potenza nominale modulo (± 5%)	W	200	210	220
Tensione alla massima potenza (Vmpp)	V	27.6	28.3	28.5
Corrente alla massima potenza (Impp)	A	7.25	7.42	7.72
Tensione a circuito aperto (Voc)	V	36.6	36.9	37.1
Corrente di corto circuito (Isc)	A	7.95	8.05	8.29
Efficienza modulo	%	8.14	8.55	8.96
Resa modulo	W / m ²	81	85	90
Area x Kwp	m ² / Kwp	12.3	11.7	11.2
Tensione massima di sistema	Voc	1000	1000	1000


Figura 74 - Scheda tecnica vetro fotovoltaico

3.1.5. CALCOLO DELLA PRODUCIBILITA'

SITO INSTALLAZIONE	
Località	Modena ▼
Dati Irraggiamento	UNI 10349 ▼
Fattore di albedo	standard ▼

I dati di irraggiamento disponibili da norma UNI nella località più vicina a Carpi sono quelli di Modena. Il fattore di albedo, che influenza il valore di radiazione riflessa disponibile, è stato scelto come standard (0,2) visto che le altre configurazioni disponibili non risultavano coerenti con la zona in cui sorge l'edificio.

Il prospetto seguente riassume invece la tipologia di impianto di cui abbiamo fatto uso (fisso, ad inseguimento solare o a concentrazione), la sua potenza (in funzione del numero di pannelli usati), il posizionamento rispetto al sud e le perdite di sistema dovute ai vari effetti indicati e al tipo di componenti usati.

SISTEMA FOTOVOLTAICO		
Tipologia		
Fotovoltaico Fisso ▼		
Potenza nominale impianto FV [kWp]	89,50	Opzione Regime GSE 'Scambio sul Posto o Vendita'
Potenza richiesta per la connessione in immissione [kW]	89,50	Impianto connesso in Bassa Tensione - BT
Perdite di sistema	Inserimento manuale ▼	79,75%
Inserire nella cella bianca H22 il valore delle perdite di sistema Gen FV-->contatore di produzione		
Temperatura	4,00% ▼	
Riflessione	2,75% ▼	
Sporcamento	3,00% ▼	
Livello di irraggiamento	2,25% ▼	
Mismatching	3,00% ▼	
Ohmiche lato CC - lato CA	1,25% ▼	
Inverter	4,00% ▼	
Efficienza globale η_{1} (Gen FV → contatore di produzione GSE)	79,75%	
Efficienza globale η_{2} (Contatore di produzione GSE → contatore energia scambiata con la rete elettrica)	98,50% ▼	
Fattore di disponibilità Impianto Fotovoltaico η_{3}	98,00% ▼	
Azimut [gradi]	0	
Tilt [gradi]	0	
Perdita di efficienza annuale	0,50% ▼	

Per quanto riguarda la vetrata il numero di moduli è 48. Le perdite di sistema rimangono invariate in percentuale, mentre invece cambiano gli angoli di azimuth e tilt vista la diversa collocazione.

Potenza nominale impianto FV [kWp]	10,60	Opzione Regime GSE 'Scambio sul Posto o Vendita'	
Potenza richiesta per la connessione in immissione [kW]	10,60	Impianto connesso in Bassa Tensione - BT	
Perdite di sistema	Inserimento manuale ▼	79,75%	

Azimut [gradi]	-68
Tilt [gradi]	6
Perdita di efficienza annuale	0,50% ▼

Di seguito vediamo riportate le tabelle riguardanti la producibilità annua del sistema fisso e della vetrata.

Località	Modena - Latitudine 44,63° Nord
Dati Irraggiamento	UNI 10349
Fattore di albedo	0,2
Azimut [gradi]	0,00
Tilt [gradi]	0,00
Efficienza η_1	79,75%
Producibilità annua [kWh/kWp]	1.118,31
Potenza FV [kWp]	89,50
Producibilità [kWh/anno]	100.088,34

Località	Modena - Latitudine 44,63° Nord
Dati Irraggiamento	UNI 10349
Fattore di albedo	0,6
Azimut [gradi]	-68,00
Tilt [gradi]	6,00
Efficienza η_1	79,75%
Producibilità annua [kWh/kWp]	1.135,34
Potenza FV [kWp]	10,60
Producibilità [kWh/anno]	12.034,58

Da non dimenticare, i grafici relativi alle emissioni risparmiate grazie all'impianto principale e alla vetrata fotovoltaica.

Emissioni evitate	CO₂	TEP	NO_x	SO₂
[Kg/1°anno]	66.208,4	22.559,91	147,13	137,32
[ton/25anni]	1.559,6	531,42	3,47	3,23

Rimboschimento equivalente	Ha/anno
	11,9

Emissioni evitate	CO₂	TEP	NO_x	SO₂
[Kg/1°anno]	7.960,9	2.712,60	17,69	16,51
[ton/25anni]	187,5	63,90	0,42	0,39

Rimboschimento equivalente	Ha/anno
	1,4

E' interessante notare come l'uso di queste tecnologia consenta di ridurre notevolmente le emissioni di biossido di carbonio in atmosfera e le tonnellate di petrolio equivalenti utilizzate per la produzione di energia. Il rimboschimento equivalente serve a dare un'immagine concreta del risparmio ottenuto. Ricordiamo che 13 ettari corrispondono a circa 18 campi da calcio regolamentari.

3.1.6. IL QUADRO NORMATIVO

Attualmente la normativa italiana prevede un sistema di incentivazione particolarmente vantaggioso per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici. Gli incentivi statali hanno cominciato ad essere erogati nel 2005, quando l'Italia ha stabilito con il **D.M. 28/07/2005**, detto anche **Primo Conto Energia**, le varie tariffe applicabili all'energia prodotta. Con il **D.M. del 5/5/2011** siamo giunti al **Quarto Conto Energia**, che vede modificate al ribasso le tariffe rispetto ai precedenti conti, con un abbassamento graduale nel tempo a seconda del mese in cui l'impianto entra in funzione. Nonostante ciò lo sviluppo del fotovoltaico continua ad essere un investimento vantaggioso per i privati ma soprattutto per le aziende, le quali si vedono garantire un entrata fissa per i successivi 20 anni oltre all'immediato risparmio sulla bolletta elettrica. Le tariffe riconosciute variano in funzione di svariati parametri che commenteremo più avanti. Oltre a questo dobbiamo ricordare che da gennaio 2012 entra in vigore il **D.L del 3 marzo 2011** riguardante l'attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, che in particolare richiede:

- 50% di energia rinnovabile per il fabbisogno destinato alla produzione di acqua calda sanitaria fin dall' entrata in vigore del Decreto stesso;

PERIODO DI PRESENTAZIONE DELLA RICHIESTA DI TITOLO EDILIZIO:	% DI ENERGIA RINNOVABILE RICHIESTA:
31 maggio 2012 - 31 dicembre 2013	20 %
1 gennaio 2014 - 31 dicembre 2016	35 %
oltre il 1 gennaio 2017	50 %

Figura 75 - Percentuali di energia rinnovabile richiesta sul totale

- Percentuale crescente di energia rinnovabile per la somma delle componenti di riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria come specificato nella tabella sotto riportata:
- Differenziazione delle fonti: in particolare il fabbisogno non potrà essere interamente soddisfatto da sistemi di produzione di energia elettrica

- Autoproduzione di energia elettrica proporzionata alla superficie in pianta al livello del terreno: nella tabella sottostante la potenza elettrica richiesta per 100 mq:

PERIODO DI PRESENTAZIONE DELLA RICHIESTA DI TITOLO EDILIZIO:	ENERGIA PRODOTTA ATTRAVERSO FONTI RINNOVABILI RICHIESTA PER 100 MQ:
31 maggio 2012 - 31 dicembre 2013	1,25 kW
1 gennaio 2014 - 31 dicembre 2016	1,53 kW
oltre il 1 gennaio 2017	2,00 kW

Figura 76 - Potenza elettrica richiesta per 100mq di piano terreno

3.1.7. IL QUADRO ECONOMICO

Abbiamo scelto di ipotizzare che l'impianto sia realizzato insieme all'edificio, perciò nel primo semestre del 2012, di conseguenza la tariffa incentivante sarà relativa a questo periodo. Dato che i consumi superano la produttività il regime contrattuale sarà quello dello SCAMBIO SUL POSTO, che permette di usare l'energia autoprodotta per le proprie necessità e di vendere quella in eccesso nelle ore dove la producibilità supera i consumi. I pannelli sul tetto corrispondono alla tipologia "impianti realizzati su edifici" e godono del 10% di bonus sulla tariffa incentivante grazie alla provenienza europea dei componenti da cui è composto. La vetrata fotovoltaica invece riceve degli incentivi ancora maggiori, visto che risponde ai requisiti di "impianto integrato con caratteristiche innovative", al quale non si applica però la maggiorazione del 10%.

FOTOVOLTAICO SU TETTO PIANO:

Potenza [kWp]	89,50
Regime contrattuale GSE	ScambioSulPosto ▼
Impianti fotovoltaici realizzati sugli edifici ▼	Tipologia Impianto
Start-up Impianto	1° Semestre 2012 ▼
Secondo BONUS art.14 Quarto Conto Energia 2011	
Zone industriali-miniere-cave-discariche esaurite-siti contaminati (+5% per Altri impianti ed impianti Art.14 comma2)	No ▼
Componenti europei per almeno il 60% del costo impianto	Si ▼
Comuni < 5.000 abitanti (+5% x i piccoli impianti)	No ▼
Bonifica Eternit/Amianto (5c€/kWh x impianti su edificio)	No ▼
Incremento tariffa (2° incremento)	10,00%
Tariffa incentivante GSE [€/kWh]	€ 0,256

Costi	
Costo kWp installato (IVA esclusa)	€ 2.600
Costo Parziale Impianto (IVA esclusa)	€ 232.700,00
Contributi in ContoCapitale	0,00%
Costo Impianto chiavi in mano (IVA esclusa)	€ 232.700,00

VETRATA FOTOVOLTAICA:

Potenza [kWp]	10,60
Regime contrattuale GSE	ScambioSulPosto
Tipologia Impianto: Integrati con caratteristiche innovative	
Start-up Impianto	1° Semestre 2012
Tariffa produzione GSE	€ 0,418

Costi	
Costo kWp installato (IVA esclusa)	€ 2.800
Costo Parziale Impianto (IVA esclusa)	€ 29.680,00
Contributi in ContoCapitale	0,00%
Costo Impianto chiavi in mano (IVA esclusa)	€ 29.680,00

Figura 77 - Costi e incentivi per i due impianti

Sommando i costi dei due impianti otteniamo il prezzo totale, pari a **262.380€**.

I consumi elettrici totali dell'edificio vanno calcolati oppure stimati parametricamente. Nel nostro caso per ottenere un consumo annuo totale che fosse più realistico possibile abbiamo dovuto eseguire entrambe le operazioni. Quello che è stato possibile calcolare è il consumo elettrico dovuto al riscaldamento, alla climatizzazione e alla produzione di acqua calda sanitaria. Riguardo questi calcoli rimandiamo alla consultazione del capitolo riguardante il progetto impiantistico. Il consumo elettrico per l'illuminazione invece è stato stimato. Sono stati presi come riferimento i dati relativi ad alcuni edifici per uffici e soprattutto l'audit energetico svolto da parte della società "CSE s.r.l" per il Collegio di Milano. Il secondo documento è molto dettagliato e ci ha permesso di ricavare i consumi elettrici dell'edificio al netto degli impianti di condizionamento e riscaldamento (dato che quelli non abbiamo bisogno di stimarli). La seguente tabella riassume la spesa elettrica del Collegio di Milano:

TAB 4.A.1 SINTESI PER USO: ENERGIA ELETTRICA					
USO	kWinst	fattore di carico/ rendimento	kWass	kWh/anno	ripartizione%
Illuminazione interna (ILLI)	64,8	47,2%	30,6	110.435	28,8%
Illuminazione esterna (ILLE)	6,8	100,0%	6,8	29.784	7,8%
Forza motrice camere (FM)	37,1	27,1%	10,1	39.822	10,4%
Riscaldamento e acqua calda sanitaria (CAL)	10,5	30,0%	4,1	21.008	5,5%
Condizionamento ambiente estivo (ODZ)	59,2	38,0%	16,0	68.834	18,0%
Climatizzazione estate/inverno (CLIM)	140,5	28,3%	41,4	57.458	15,0%
Servizi (SERV)	56,0	9,3%	5,2	38.112	9,9%
Pompe (PMP)	10,5	26,7%	2,8	13.356	3,5%
Perdite (LOSS)	0,5	100,0%	0,5	4.346	1,1%
TOTALE	385,8	30,4%	117,4	383.153	100,0%

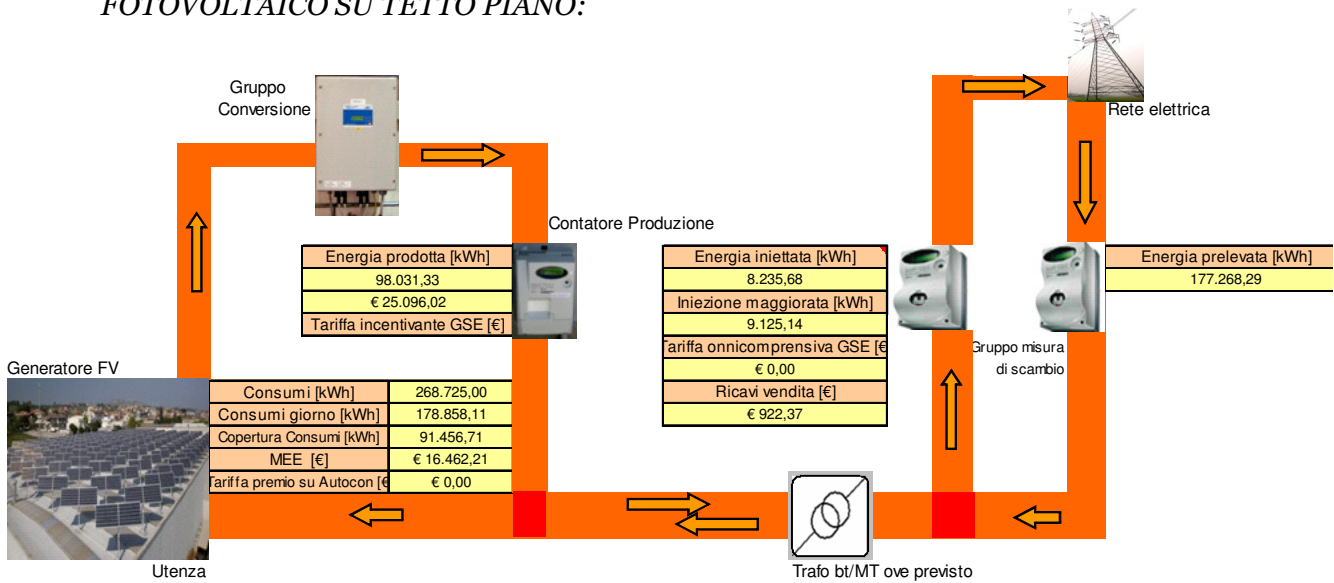
Figura 78 - Consumo elettrico Collegio di Milano

Se dal totale togliamo le voci segnate in rosso e dividiamo tale somma per i metri quadri di edificio (7500 circa) otteniamo un consumo di circa 30kWh/m². Nonostante l'apparente incoerenza tra questa tipologia di fabbricato e la nostra, esistono molti punti di affinità. Le funzioni ospitate al suo interno comprendono sale studio, uffici e alloggi, che dal punto di vista energetico si comportano in modo piuttosto simile ad alcuni locali del nostro centro direzionale. Proprio per questo motivo abbiamo deciso di prendere come riferimento questo valore, aumentandolo di 5kWh/m², arrivando perciò ad un consumo di 35kWh/m². Tale valore risulta abbastanza in linea con quanto rilevato negli edifici per uffici presi come riferimento, che presentano dei consumi che si attestano intorno ai 40/45kWh/m². In questo caso non abbiamo dati sufficienti per capire cosa comprendano questi valori; sapendo però che questi edifici sono tutti del nord Europa possiamo ipotizzare che i consumi siano più alti soprattutto per motivazioni legate al clima presente sul territorio. Inoltre possiamo supporre che questi edifici campione non siano stati ottimizzati energeticamente, il che giustifica ulteriormente la differenza rispetto al nostro. Dato che la pompa di calore che abbiamo usato ha un COP pari a 5 e copre l'80% del fabbisogno termico dell'edificio, il restante consumo elettrico è suddiviso tra UTA e illuminazione. Ricordiamo che il 55% del fabbisogno di ACS verrà soddisfatto dall'impianto solare termico.

	kWh/m ² anno
Consumo PDC	8,00
Consumo UTA	7,00
Illuminazione	35,00
TOTALE STIMA	50,00 kWh/m² anno
	268724,424 kWh/anno

Se consideriamo la situazione al termine del primo anno possiamo già quantificare il ritorno economico dell'investimento: l'incentivo sull'energia prodotta dalla vetrata fotovoltaica ci permette di guadagnare 4.927€, mentre il risparmio sulla bolletta si quantifica in 2.165€ circa. Il tetto fotovoltaico invece, tramite gli incentivi, porta in cassa altri 25.100€ che vanno a sommarsi ai 16.462€ risparmiati in bolletta e ai 922€ derivanti dalla vendita dell'energia prodotta nei giorni in cui l'edificio non consuma tutto quello che viene prodotto. Questo vuol dire che già dal primo anno abbiamo un ritorno economico di **49.576€**.

FOTOVOLTAICO SU TETTO PIANO:



VETRATA FOTOVOLTAICA:

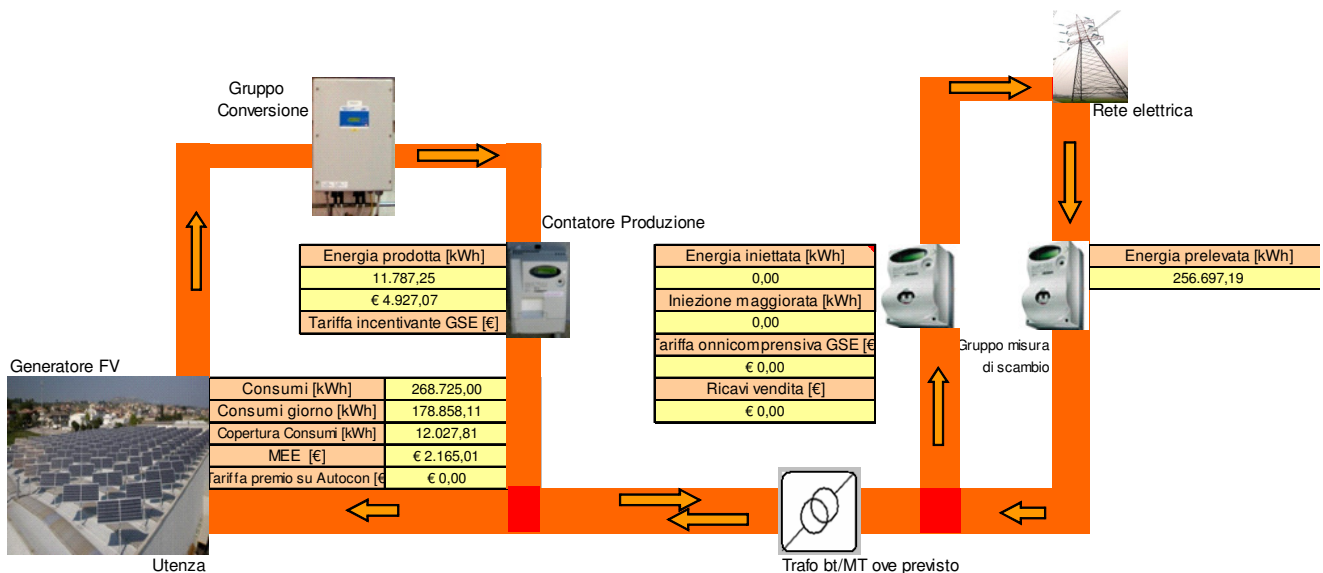


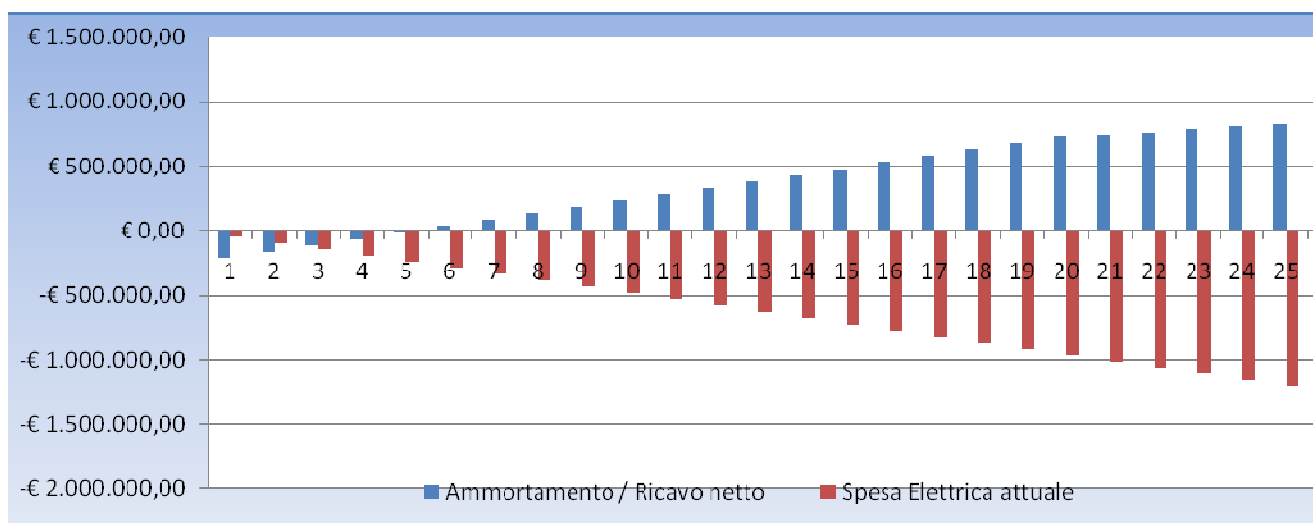
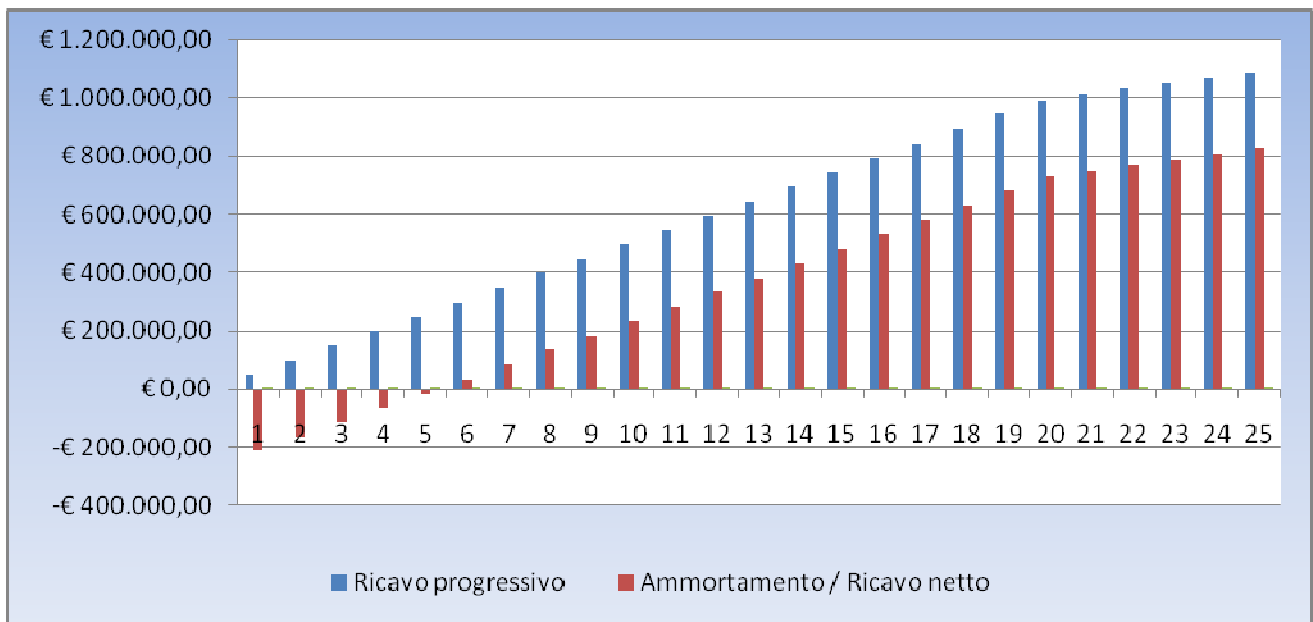
Figura 79 - Conto energia al primo anno per gli impianti FTV

Questo valore negli anni andrebbe ridotto delle spese di assicurazione, manutenzione, delle spese straordinarie, del tasso di inflazione e del tasso di interesse dell'eventuale finanziamento. Trascurando questi parametri, possiamo semplificare l'andamento economico dei due sistemi in parallelo per i primi 25 anni secondo questi grafici:

Spesa Elettrica attuale **48.370,00** €

Costo Impianto	262.380,00 €
Ricavo da Conto Energia	30.023,00 €
Ricavo da Risparmio Energia	19.549,00 €
Ricavo annuale	49.572,00 €

Anno	1	2	3	4	5	6	25
Ricavo progressivo	49.572	99.144	148.716	198.288	247.860	297.432	1.089.185
Spesa Elettrica attuale	-48.370	-96.740	-145.110	-193.480	-241.850	-290.220	-1.209.250
Ammortamento / Ricavo netto	-212.808	-163.236	-113.664	-64.092	-14.520	35.052	826.805



nel tempo

3.1.8. CONCLUSIONI

Quello che emerge dall'interpretazione dei due grafici finali è sicuramente la convenienza economica di un investimento in questo campo. Analizzando la prima immagine si vede come il pareggio tra spese sostenute e ricavi generati arrivi al pareggio intorno al sesto anno. Questo vuol dire che al sesto anno avremo ripagato l'impianto, mentre per i successivi 14 avremo un ricavo netto ogni anno. Al termine del periodo di incentivazione, ossia 20 anni, la crescita sarà meno accentuata ma pur sempre presente dato che il risparmio sulla bolletta dovuto all'autoproduzione di energia rimane fino alla dismissione dell'impianto. Il secondo grafico confronta la situazione nell'ipotesi di presenza (blu) e assenza (rosso) dell'impianto. Senza investire nel fotovoltaico avremmo una spesa per l'energia elettrica in costante aumento negli anni (sommando le spese anno per anno). Nel caso in cui invece venisse eseguito l'impianto, al 25esimo anno vedremo ridotta la spesa elettrica di 826.000€ a fronte di un investimento iniziale di 260.000€, che significa aver risparmiato/guadagnato un totale di 560.000€ circa.

3.2. L'IMPIANTO SOLARE TERMICO

Come abbiamo già detto, la normativa italiana prevede che almeno il 50% della produzione di acqua calda sanitaria sia garantita tramite l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili. Questa percentuale, sempre per obbligo di legge, non può essere raggiunta solo con un unico sistema di produzione, per cui nasce l'obbligo di differenziare il tipo di tecnologia da cui essa viene prodotta. La soluzione che abbiamo adottato è stata quella di posizionare alcuni pannelli solari sulla copertura degli uffici.

3.2.2. IL FUNZIONAMENTO DEL PANNELLO SOLARE

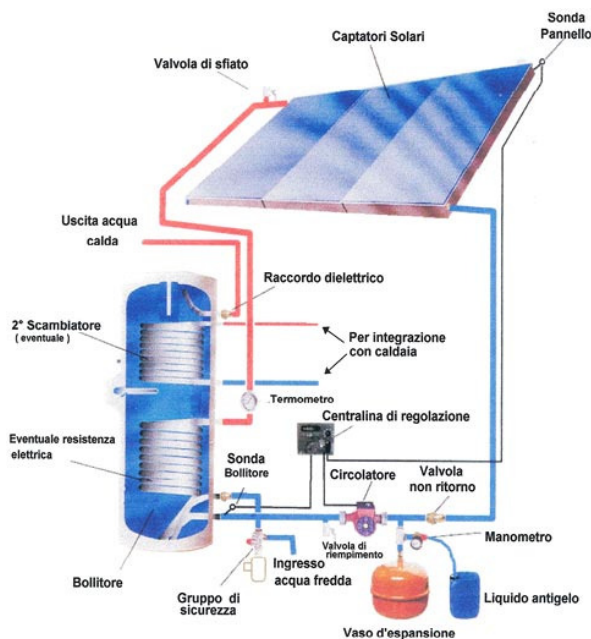


Figura 81 - Schema di impianto solare termico

Il funzionamento di un impianto termico è di per sé sempre simile nonostante possa assumere leggeri cambiamenti a seconda dell'applicazione e dell'utilizzo. In principio ci sono dei collettori solari che, catturando l'energia solare, la trasformano in calore. I collettori sono attraversati da un fluido incanalato da un circuito solare che lo porterà a un accumulatore. L'accumulatore si occuperà di immagazzinare più energia termica possibile al fine di poterla usare successivamente al momento del bisogno. Il collettore solare è il dispositivo base. Il suo compito è quello di assorbire maggior luce solare possibile e trasformarla in calore. Il principio di funzionamento per i diversi collettori esistenti al mondo è pressoché

identico: un corpo nero assorbe la luce solare riscaldandosi. Il calore del corpo nero viene trasferito a un fluido che in genere passa in tubi a contatto con il corpo nero al fine di permettere il miglior passaggio di calore possibile. In genere il corpo nero viene ricoperto da materiale isolante per disperdere meno calore possibile. Esistono vari tipi di pannelli:

- **Pannelli vetrati**

Sono costituiti da tubi di materiale plastico opaco e scuro, coperti nella parte esposta al sole da un vetro che intrappola la radiazione solare a bassa frequenza aumentando così il trasferimento di calore al liquido contenuto nei tubi. Il lato non esposto è isolato per minimizzare la dispersione del calore.

- **Pannelli non vetrati**

Sono costituiti da tubi o strisce di materiale plastico opaco e scuro o gomme speciali, per consentire il massimo assorbimento della radiazione. I rendimenti medi di tali collettori sono significativamente molto più modesti di quelli relativi ai collettori vetrati, pure la vita media normalmente si dimezza rispetto ai collettori vetrati.

- **Tubi sottovuoto**

Il liquido termovettore riscaldato (acqua) è completamente isolato in un tubo di vetro privo di aria. Con questa soluzione si elevano i rendimenti finali soprattutto in aree con condizioni climatiche rigide che ne giustificano gli alti costi.

3.2.3. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

Innanzitutto dobbiamo calcolare il nostro fabbisogno di ACS giornaliero. Esso verrà calcolato coi metodi indicati nella certificazione LEED, questo perché i metodi consigliati sui manuali si riferiscono generalmente alle tipologie residenziali. Come avremo modo di vedere successivamente, abbiamo separato il fabbisogno delle diverse parti dell'edificio secondo le attività ospitate, poi sulla base di questo risultato abbiamo stimato la quantità di acqua che sarebbe stata da riscaldare rispetto al totale. I calcoli effettuati si trovano nel paragrafo 3.3. Il consumo giornaliero di ACS è risultato essere di circa **690 litri**, per cui per assolvere gli obblighi di legge dobbiamo essere in grado di produrre almeno **345 litri** mediante il sistema solare termico. Per la simulazione ci siamo affidati al software SUNHEAT, che ci ha permesso di calcolare la percentuale di ACS producibile su base annua a seconda del tipo di impianto e di esposizione in modo abbastanza realistico. Si nota chiaramente come la producibilità cali nei mesi invernali. Ricordiamo che anche la pompa di calore contribuisce alla produzione di ACS; l'uso simultaneo di entrambe le tecnologie permette di soddisfare il fabbisogno di energia per ACS interamente con fonti rinnovabili.

Calcoli effettuati secondo i metodi indicati nella norma **UNI 8477-1** sui dati presenti nella tabella allegata alla norma **UNI 10349**.

Stima del fabbisogno

Numero di persone: 7 Consumo ACS: 350 litri al giorno

Temperatura media acquedotto: 10°C Temperatura richiesta ACS: 45°C

Domanda energetica annua: 5.199 kWh/anno

Dati località, temperatura e irraggiamento

Provincia: **Modena** Coordinate: **44°38'N 10°55'E** Altitudine: **34m s.l.m.**

Coefficiente di riflessione: **0.6** Azimuth collettori: **SUD-EST** Inclinazione: **20°**

Modello: **SCF-DELUXE1-300** Superficie di assorbimento: **2.92 m²** Serbatoio: **300 litri**

Rese mensili

Mese	Rg _{gmm} * (kWh/m ² /gg)	T. media ambiente	Fabbisogno mensile (kWh)	Copertura mensile (kWh)	Risparmio
Gennaio	1,56	1,40°C	441,00	61,12	14%
Febbraio	2,33	3,50°C	398,00	102,36	26%
Marzo	3,69	8,60°C	441,00	207,97	47%
Aprile	5,01	13,30°C	427,00	290,33	68%
Maggio	5,98	17,20°C	441,00	367,96	83%
Giugno	6,48	21,80°C	427,00	394,61	92%
Luglio	6,82	24,30°C	441,00	433,98	98%
Agosto	5,80	23,80°C	441,00	367,18	83%
Settembre	4,63	20,10°C	427,00	276,54	65%
Ottobre	3,34	14,00°C	441,00	194,24	44%
Novembre	1,88	8,10°C	427,00	88,86	21%
Dicembre	1,52	3,10°C	441,00	61,39	14%

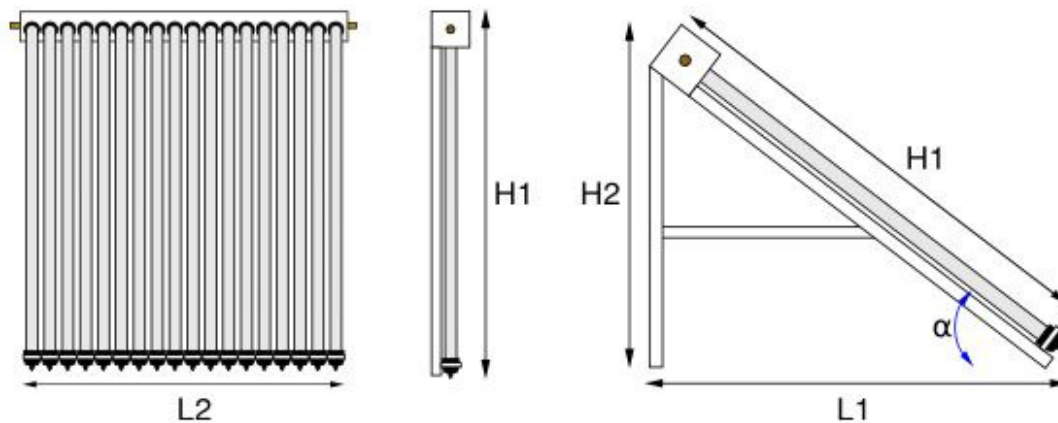
(*) Radiazione Globale Giornaliera Media Mensile su superficie inclinata a 20°.

Copertura annuale: 55%

© <http://www.sunheat.it>

Figura 82 - Producibilità annua di ACS

Misure:



Modello	Tipologia di telaio	Tubi			Misure (cm)				α	Peso a vuoto
		N.	Lunghezza	Diametro	H1	H2	L1	L2		
SCF-AC-18P58-I	Per tetto o parete verticale	18	1800mm	58mm	195	--	--	150	0°	66 kg
SCF-AC-18P58-P	Per solaio piano o giardino					128	172		50°	75 kg

Figura 83 - Dimensioni e numero di tubi per il pannello solare scelto

Il numero di persone impostato è pari a 7 ma non è da prendere in considerazione, visto che è stato inserito solamente per arrivare ad un consumo prossimo ai 350 litri. I dati di irraggiamento sono relativi a Modena. E' importante ricordare che siccome la percentuale è riferita già al consumo dimezzato, dovremo usare il doppio dei moduli indicati dal prospetto. Il serbatoio invece dovrà contenere 450 litri. I moduli da usare saranno quindi quattro, del seguente modello.

Scheda tecnica:

- certificato EN12975-2 rilasciato da SPF
- materiale esterno del collettore: acciaio inox
- materiale dell'heat pipe: rame C12200
- isolamento: lana di roccia
- guarnizioni: gomma siliconica per alte temperature
- pressione di test: 9 bar
- tipologia di telaio: tetto piano / tetto inclinato
- angolazione del telaio: 0° - 50°
- diametro raccordi: 3/4"
- heat pipe con saldobrasature ad alto tenore di argento

In definitiva, usando questa tecnologia, riusciamo a soddisfare il fabbisogno di ACS per il **55-57% del totale annuo**, arrivando a sfiorare il 100% in alcune stagioni.

3.3. STRATEGIE PER UN USO COSCIENTE DELL'ACQUA POTABILE

Per far fronte al consumo interno ed esterno all'edificio di acqua di rete, e quindi potabile, abbiamo deciso di affrontare la tematica del recupero delle acque piovane e delle acque grigie. Visto che l'acqua sta diventando un bene sempre più prezioso, è bene adottare strategie che consentano un uso limitato e intelligente della stessa, questo non solo per ragioni di risparmio economico ma soprattutto per rispetto dell'ambiente in cui viviamo. Il riciclo delle acque spesso passa in secondo piano rispetto ai sistemi di produzione di energia elettrica o di acqua calda sanitaria proprio per ragioni economiche; nel nostro caso trattandosi di un'azienda i consumi sono ben più elevati di una semplice abitazione, per cui prendere coscienza del problema e affrontarlo rappresenta quasi un obbligo.

3.3.1. CALCOLO DEI CONSUMI

Innanzitutto è necessario capire di quanta acqua necessita il nostro edificio. Per fare questo ci siamo basati su dati statistici reperiti da varie ricerche effettuate sul tema e delle tabelle dei consumi di un edificio standard fornite dalla certificazione LEED. Iniziamo stimando il numero di occupanti del nostro edificio, intesi come lavoratori fissi e residenti.

ZONA DIREZIONE: 30 PERSONE

ZONA MAGAZZINO: 7 PERSONE

APPARTAMENTO DEL CUSTODE: 4 PERSONE

Ognuna di queste categorie ha diversi consumi data la diversità delle loro necessità. Per esempio per gli occupanti dell'appartamento il consumo è stato valutato secondo la seguente logica:

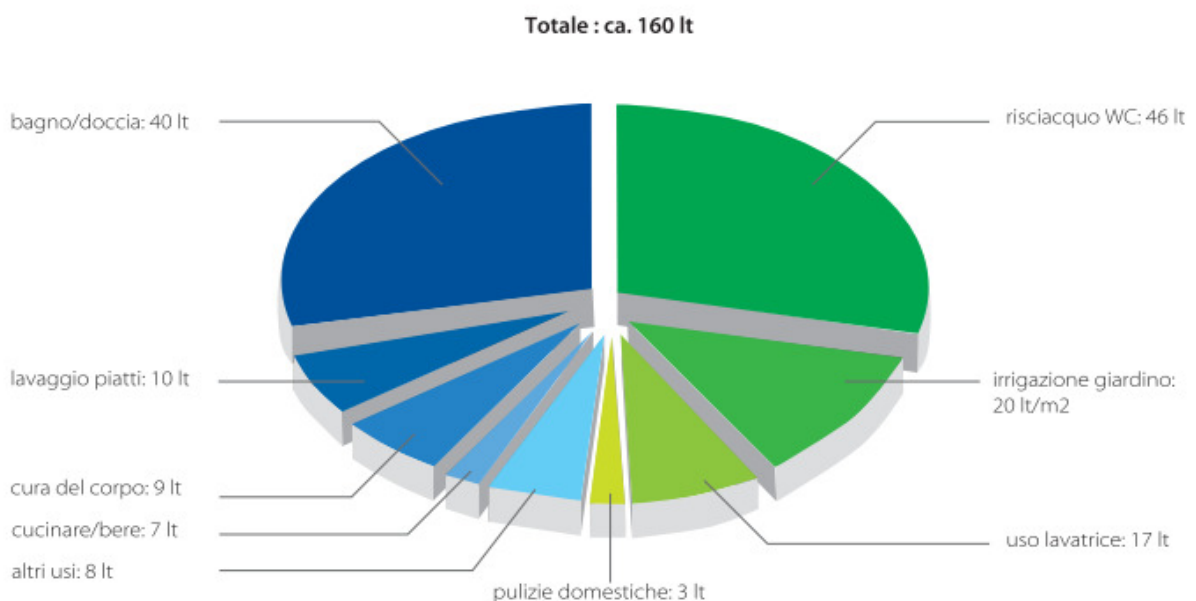


Figura 84 - Consumo di acqua medio per abitante

Noi abbiamo deciso di sovrastimare ulteriormente questo consumo usando come dato di riferimento 165 litri/giorno per persona. Per i lavoratori invece sono state fatte delle stime rispetto i vari utilizzi dei dispositivi e le portate indicate nelle normative che vengono riportate nel capitolo dedicato alla certificazione LEED.

Quello che ci interessa ulteriormente è dividere questi consumi in quanto può essere sofferito da acqua non potabile e quanto rimane obbligatoriamente alimentato da acqua di rete. I dispositivi che possono fare a meno dell'acqua potabile sono i WC, le lavatrici, l'acqua utilizzata per le pulizie domestiche e quella per l'irrigazione. I consumi annui vengono ottenuti moltiplicando il consumo domestico per 365 e il consumo dei lavoratori per 291 (vengono esclusi i giorni festivi). Riepilogando, otteniamo:

	litri/pers.	litri tot.
Non potabile x persona app.	80	320

	litri/pers.	litri tot.
Non potabile x persona uff.	20	600
Pulizie	13	13

	litri/pers.	litri tot.
Non potabile x persona mag.	20	140
Pulizie	20	20

Per un totale di **341.743 litri/anno di acqua che può essere sostituita con acqua non potabile.**

La parte restante è costituita dai consumi di acqua che deve essere necessariamente potabile, come quella dei lavandini di bagni e cucina, delle docce e della lavastoviglie. Il calcolo per questi consumi segue la stessa logica di quelli sopracitati:

	litri/pers.	litri tot.
Potabile per persona app.	85	340

	litri/pers.	litri tot.
Potabile per persona uff.	12	360

	litri/pers.	litri tot.
Potabile x persona mag.	70	490

Per un totale di **371.450 litri/anno di acqua potabile non sostituibile.** Questo vuol dire che l'acqua potabile rappresenta **il 54,5%** del consumo totale.

3.3.2. STRATEGIE DI CONTENIMENTO DEGLI SPRECHI

Come prima cosa possiamo individuare alcuni dispositivi che possono essere utilizzati per limitare il flusso in uscita da rubinetti e scarichi. Sul mercato sono presenti apparecchi molto economici che consentono risparmi consistenti. Possiamo ricordare:

- **Aeratori:** si applicano direttamente all'uscita del rubinetto, la retina di cui sono provvisti consente di miscelare il getto d'acqua con aria, aumentandone il potere lavante pur diminuendone il flusso.
- **Riduttori di portata:** sono delle valvole da applicare agli erogatori che consentono di mantenere una velocità di flusso costante, indipendentemente dalla pressione di esercizio.
- **Sciaquoni a doppio tasto o con tasto di stop:** servono a limitare l'acqua utilizzata per il risciaquo del WC

Questi dispositivi consentono risparmi che vanno dal 30% al 50% rispetto il caso standard, per cui abbiamo deciso di dotare di questi sistemi tutte le rubinetterie e gli scarichi dell'edificio.

CALCOLO DEI CONSUMI RIDOTTI

Analizzando le varie combinazioni di risparmio ottenibili a seconda dei dispositivi usati, abbiamo ricalcolato i consumi al netto dell'acqua risparmiata:

	PRIMA l/anno	RISPARMIO %	DOPO l/anno
Non potabile app.:	116.800	-30%	81.760
Non potabile uff.:	178.383	-40%	107.030
Non potabile mag.:	46.560	-40%	27.936
TOTALE:	341.743	-37%	216.726
Potabile app.:	124.100	-30%	86.870
Potabile uff.:	104.760	-30%	73.332
Potabile mag.:	142.595	-30%	99.813
TOTALE:	371.450	-30%	260.015
SOMMA:	713.193	-33%	476.740

Questo significa che le misure adottate permettono un risparmio totale del **33%**.

3.3.3. IL SISTEMA DI RECUPERO DELL'ACQUA PIOVANA

Per far fronte al fabbisogno di acqua non potabile dell'edificio abbiamo deciso di installare un sistema di recupero dell'acqua piovana, che serva sia la zona direzione che il magazzino e l'appartamento, ed è così composto:

- **Sistema di raccolta:** composto da superficie di raccolta, converse, canali di gronda, bocchettoni, pluviali, pozzetti di drenaggio, caditoie, tubazioni di raccordo. Deve essere dimensionato secondo le indicazioni della norma UNI 10724: i dati di base necessari per il calcolo delle sezioni di grondaie, pluviali e collettori devono tener conto dei dati climatologici (quantità e durata delle piogge desunti dall'analisi del sito) e dei dati geometrici delle superfici che possono ricevere le precipitazioni (inclinazione, superficie) e dei materiali della superficie di raccolta (rame, coppi, cemento, superficie verde).
- **Sistema di accumulo:** costituito dai serbatoi. Questi devono essere dimensionati in funzione del sistema di raccolta, dell'utilizzo e delle riserve previste.
- **Sistema di riutilizzo:** impianto di tipo idraulico che serve a prelevare l'acqua stoccata nei serbatoi e a distribuirla agli apparecchi che la riutilizzano. Questi ultimi devono quindi essere allacciati ad un "doppio impianto" (impianto idrico normale e impianto di riciclaggio) che permetta il prelievo differenziato in relazione ai consumi e alla disponibilità delle riserve.
- **Sistema di dispersione:** può essere costituito da corpi d'acqua o fognature pubbliche o tubazioni drenanti o pozzi perdenti.

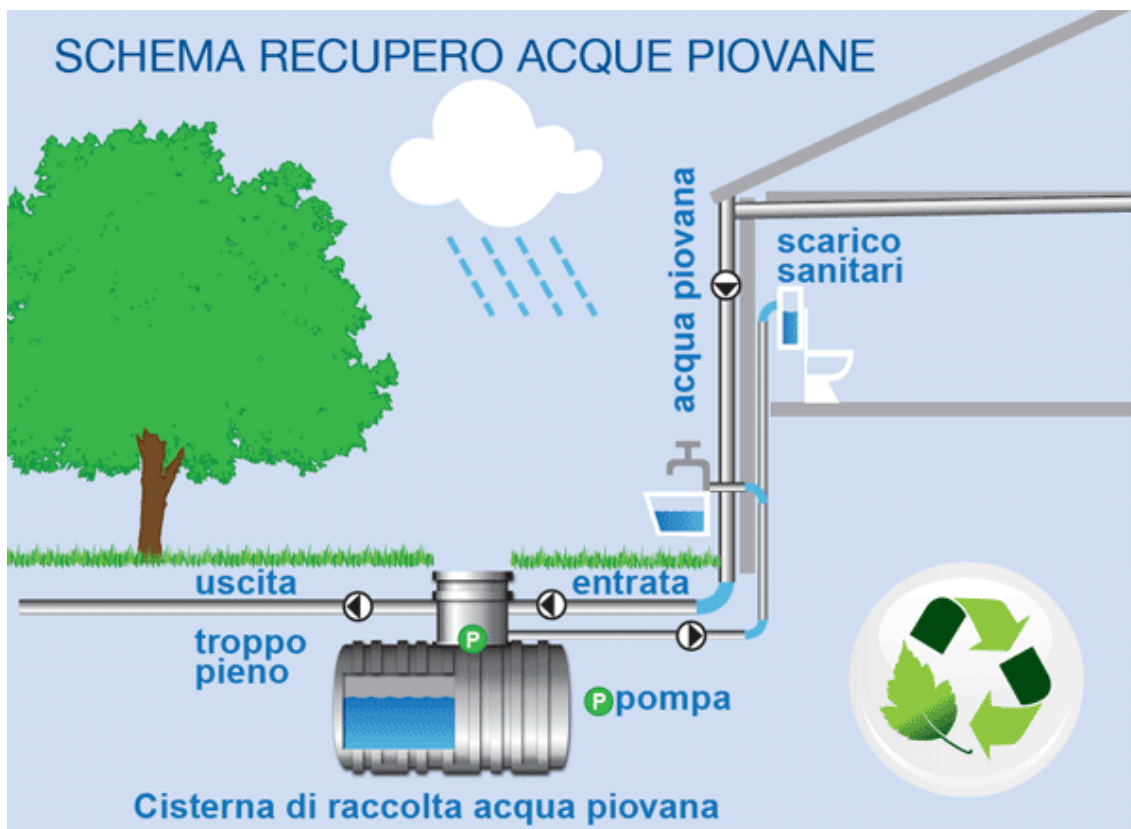


Figura 85 - Schema per l'impianto di recupero delle acque piovane

Ovviamente l'acqua, prima di essere raccolta in cisterna ed essere reimpressa nelle tubature, viene filtrata e depurata per quanto possibile.

Per calcolare quanta acqua possiamo potenzialmente raccogliere abbiamo bisogno di alcuni dati, come la piovosità media annua, la geometria del tetto, il materiale di cui è composto e l'efficacia del filtro. Il calcolo viene poi effettuato in questo modo:

$$\text{Litri racc.} = \text{Piovosità} * \text{Superficie captante} * \text{Coeff. di resa} * \text{Efficacia filtro}$$

Piovosità	Tetto verde	Tetto uffici	Tetto calp.	Sbalzo
l/m ² annuo	m ²	m ²	m ²	m ²
700	1215	1460	290	327

	Coeff. di resa
Tetto verde	0,2
Tetto piano	0,75

Efficacia del filtro	0,95
----------------------	------

	litri all'anno
Uffici	728175
Magazzino	469324
TOTALE	1197499

Dopo aver valutato quanti litri potenziali possiamo raccogliere durante l'anno, possiamo al dimensionamento dei serbatoi. Dato che abbiamo già calcolato il fabbisogno annuo di acqua non potabile, ipotizziamo di dividere l'edificio in due macrozone e di creare due serbatoi distinti per evitare di costruire un unico serbatoio troppo grande. Per il dimensionamento seguiremo la formula:

$$\text{Capacità serbatoio} = \text{Fabbisogno annuo} * \text{Periodo secco medio} : 365$$

Il periodo secco medio si assume pari a 21 giorni, per cui risulta:

	litri
Mag. + Appartam.	6311
Uffici	6158

Questo vuol dire che avremo bisogno di **due serbatoi da 6500 litri** ciascuno.

Il risultato ottenuto ci consente di risparmiare il **100%** di acqua non potabile richiesta dai consumi interni ogni anno.

3.3.4. IL SISTEMA DI RICICLO DELLE ACQUE GRIGIE

Per una gestione ancora più efficiente dei fabbisogni idrici e per limitare l'afflusso di acqua di scarico in fognatura abbiamo deciso di trattare anche le acque potabili. Infatti esse possono essere sfruttate anche per l'irrigazione dei giardini invece di essere subito scartate. Il fabbisogno irriguo infatti non era stato calcolato prima, perché vista la grande estensione di giardini interni ed esterni avremmo avuto bisogno di serbatoi enormi per far fronte ad un periodo secco di 21 giorni usando il recupero dell'acqua piovana, mentre riciclando l'acqua potabile si ha un apporto sicuramente più costante e che quindi richiede meno immagazzinamento visto che viene usata praticamente subito.

Il principio su cui si basa il riciclo delle acque grigie è molto simile a quello usato per l'acqua piovana, con la differenza che l'acqua di raccolta viene recuperata dagli scarichi dei lavandini, delle lavatrici e delle lavastoviglie per cui deve essere depurata e filtrata con più cura. Dopo il trattamento l'acqua verrà usata per l'irrigazione dei giardini.

3.3.5. FABBISOGNO IDRICO DEI GIARDINI

Per il calcolo si assume che il fabbisogno per i giardini interni sia di $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ mentre per quelli esterni di $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$; Il tetto giardino, grazie al suo spessore ridotto e alle vasche di accumulo di cui è dotato non richiede irrigazione artificiale. Inoltre, prevedendo che il sistema esterno sia dotato di sensori di pioggia e piantumato con alberi e arbusti locali, possiamo affermare che il fabbisogno si riduce del 50% circa rispetto ad un caso di irrigazione standard. Quindi, calcolando:

	Dimensione	Fabbisogno	Riduzione	Fabbisogno tot.
	m^2	mc/mq	%	litri/anno
Giardino interno	300	0,3	-	90000
Giardino esterno	2400	0,4	50%	480000

3.3.6. ACQUA GRIGIA RECUPERATA

Ipotizzando di recuperare totalmente l'acqua potabile di rete non derivante già dal recupero della piovana, abbiamo che:

	litri giorno	litri anno
Appartamento	350	127750
Magazzino	343	99813
Uffici	252	73332
TOTALE	945	300895

Se ipotizziamo di trattenere le acque in serbatoio per un massimo di 3 giorni, equivale ad avere un serbatoio da 3000 litri. Queste misure garantiscono che il 53% del fabbisogno idrico dei giardini possa essere soddisfatto del recupero delle acque grigie.

3.3.7. RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI

Ora che abbiamo un quadro completo dei processi riguardanti il trattamento delle acque possiamo concludere calcolando il risparmio idrico totale che queste misure assicurano al nostro complesso. Il PRIMA corrisponde alla situazione di consumo standard, il DOPO invece alla situazione di consumo al netto dei benefici portati dai vari sistemi.

	PRIMA	DOPO
	m ³ di H ₂ O	m ³ di H ₂ O
Edificio	713	260
Giardini	960	269
TOTALE	1673	529

Il risparmio globale ottenuto è del **68,4%**.

Se invece, come richiesto dalla certificazione LEED, confrontiamo solamente i consumi interni (escludendo quindi i giardini), otteniamo:

	PRIMA	DOPO
	m ³ di H ₂ O	m ³ di H ₂ O
Potabile	371	260
Non potabile*	342	0
TOTALE	713	260

In questo caso la percentuale risparmiata è del **63,5%**.

Conoscendo il costo di un metro cubo di acqua di rete, pari a circa 1,5€, possiamo quantificare il risparmio sui costi di erogazione dell'acqua. Se la situazione nel caso standard è di una spesa pari a circa 2500€ all'anno, dopo tutti gli accorgimenti presi esso è calato fino a 790€ all'anno; un risparmio di circa 1700€ ogni anno.

Parte Quarta

Bilancio energetico - Relazione impiantistica - Studio delle aperture in facciata

4. INTRODUZIONE

In questo capitolo, strutturato in tre parti, si vuole studiare più approfonditamente l'edificio dal punto di vista energetico

La prima parte analizza in bilancio energetico dell'edificio in inverno, in estate ed i consumi per l'acqua calda sanitaria; segue la certificazione energetica.

La seconda parte riguarda il dimensionamento dell'impianto di climatizzazione.

La terza parte raccoglie il risultato di una ricerca sperimentale sulle strategie di composizione delle finestrate, l'obiettivo è analizzare l'involucro esterno individuando la dimensione e la posizione ideale per le aperture in facciata.

4.1. IL BILANCIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO

La legislazione italiana prevede la certificazione energetica degli edifici. Gli edifici, devono essere classificati in base ad un indice di prestazione energetica globale (EPgl), definito, nel caso di edifici residenziali con occupazione continuativa, come rapporto tra la domanda annua di energia primaria e la superficie utile dell'edificio [kWh/(m² anno)], negli altri casi, come quello da noi studiato, l'indice è definito dal rapporto tra la stessa domanda annua di energia ed il volume dell'edificio [kWh/(m³ anno)].

Secondo le “linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici” (DM 26.06.09) gli edifici vengono classificati in base ad un indice di prestazione energetica globale (EPgl) così definito:

$$EPgl = EPi + EPacs + EPe + EPill$$

Dove:

- EPi = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale,
- EPe = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva,
- EPacs = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria,
- EPill = indice di prestazione energetica per illuminazione artificiale.

Va detto che attualmente, in fase di avvio della normativa, fra gli indici sopra riportati è richiesto solo il calcolo di EPi ed EPacs, pertanto si assume:

$$EPgl = EPi + Epacs$$

La legislazione italiana fa riferimento alla norma UNI/TS 11300.

4.1.1. PROCEDURA DI CALCOLO

Le norme italiane UNI/TS 11300-1 e UNI/TS 11300-2 definiscono il metodo per il calcolo su base mensile dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per raffrescamento ($Q_{C,nd}$) così definite:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol})$$

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls}(Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

dove:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento
- $Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di riscaldamento
- $Q_{C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di raffrescamento
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di riscaldamento
- $Q_{C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di raffrescamento
- Q_{int} sono i guadagni termici interni
- Q_{sol} sono i guadagni termici solari
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici
- $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

Gli indici di prestazione energetica EPI e EPe sono quindi dati dalle formule

$$EPI = \frac{Q_{H,nd}}{V_{riscaldato} \eta_g}$$

$$EPe = \frac{Q_{C,nd}}{V_{raffrescato} \eta_g}$$

dove V è il volume d'aria riscaldato o raffrescato e η_g è il rendimento globale stagionale:

$$\eta_g = \eta_e \eta_c \eta_d \eta_p$$

con:

- η_e rendimento dei terminali
- η_c rendimento relativo al controllo/regolazione
- η_d rendimento della distribuzione
- η_p rendimento della produzione

4.1.2. CALORE DISPERSO ATTRAVERSO LE CHIUSURE $Q_{H,tr}$

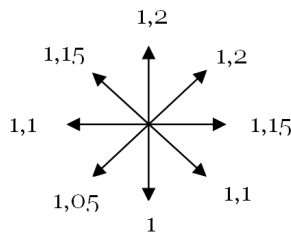
Per determinare il calore disperso è necessario innanzitutto calcolare il flusso termico passante per le chiusure $\phi_{H,tr}$ che è dato dalla somma di tutti i flussi per le pareti opache e trasparenti e per la chiusura contro-terra, da cui le rispettive formule:

$$\phi_{H,tr} = SK(t_i - t_e)A$$

dove:

- S [m²] è la superficie della parete
- K [W/m²K] è la trasmittanza della parete

- t_e [°C] è la temperatura esterna calcolata secondo la UNI 10349
- t_i [°C] è la temperatura interna considerata pari a 20°C in fase invernale
- A è un coefficiente di correzione relativo all'orientamento della parete:



Per la parete contro-terra si ha invece:

$$\phi_{H, tr ct} = SK_{ct}(t_i - t_t)$$

$$K_{ct} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{1}{C_t}}$$

dove:

- K_{ct} [W/m²K] trasmittanza corretta del solaio solaio contro-terra
- t_t [°C] temperatura terreno
- C_t [W/m²K] conduttanza terreno

Il calore $Q_{H, tr}$ è dato dal flusso moltiplicato per il tempo di utilizzo.

$$Q_{H, tr} = \phi_{H, tr} * ore \text{ di utilizzo}$$

Di seguito si riporta il calcolo della temperatura media a Carpi, del flusso passante attraverso il solaio contro-terra e del calore per trasmissione relativo al mese di ottobre. Le tabelle corrispondenti agli altri mesi sono invece riportati nella relativa appendice.

TEMPERATURA MEDIA t_e NEL COMUNE DI CARPI

La procedura seguita è quella illustrata nella norma UNI 10349:

4. Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VI. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);
- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\Theta_e = \Theta_{e,r} - (z - z_r) \cdot \delta \tag{1}$$

dove: $\Theta_{e,r}$ è la temperatura nella località di riferimento;

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

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

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

Prospetto II — Valori del gradiente verticale di temperatura

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

Prospetto VI — Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	GEN. °C	FEB. °C	MAR. °C	APR. °C	MAG. °C	GIU. °C	LUG. °C	AGO. °C	SET. °C	OTT. °C	NOV. °C	DIC. °C
51	MO	Modena	34	1,4	3,5	8,6	13,3	17,2	21,8	24,3	23,8	20,1	14,0	8,1	3,1

	altitudine [m]	t _e [C°]											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Modena	34	1,4	3,5	8,6	13,3	17,2	21,8	24,3	23,8	23,1	14	8,1	3,1
δ [°C/m]		1/200											
Carpi	26	1,44	3,54	8,64	13,34	17,24	21,84	24,34	23,84	23,14	14,04	8,14	3,14

TRASMISSIONE ATTRAVERSO IL SOLAIO CONTROTERRA ϕ_{ct}

superficie	S[m ²]	K[W/m ² K]	C _t [W/m ² K]	K _{ct} [W/m ² K]	t _e [°C]	t _i [°C]	$\phi_{H,ct}$ [W]
Controtterra C. dir	1022	0,26	2	0,23	10	20	2352
Giardino controtterra	136	0,28	2	0,25	10	20	444
Controtterra Z. dir	282	0,26	2	0,23	10	20	649
Controtterra C. prod.	1474	0,28	2	0,25	10	20	3620
							$\phi_{H,ct\ tot}$ [W]
							7065

TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE CHIUSURE TRASPARENTI ED OPACHE - MESE OTTOBRE $Q_{H,tr}$

superficie	tipologia				S[m ²]	K[W/m ² K]	T _e [°C]	T _i [°C]	ΔT [K]	A	$\phi_{H,tr}$ [W]
	trasparente	opaco	controtterra	partizione							
N-E corpo direzione	x				489	0,8	14,04	20	6	1,20	2798
N-O corpo direzione	x				123	0,8	14,04	20	6	1,15	674
O corpo direzione	x				104	0,8	14,04	20	6	1,10	545
S-O corpo direzione	x				249	0,8	14,04	20	6	1,05	1247
S corpo direzione	x				32	0,8	14,04	20	6	1,00	153
S-E corpo direzione	x				36	0,8	14,04	20	6	1,10	189
E corpo direzione	x				32	0,8	14,04	20	6	1,15	175
Copert C. dir. Vetrato	x				178	0,9	14,04	20	6	1,00	955
Copert C. dir. Opaco		x			1171	0,17	14,04	20	6	1,00	1186
Controtterra C. dir			x		1022		14,04	20	6	0,00	0
Giardino controtterra			x		136		14,04	20	6	0,00	0
S-O zona direzione	x				39	0,8	14,04	20	6	1,05	195
S-E zona direzione	x				77	0,8	14,04	20	6	1,10	404
Copert. Z. dir. Opaco		x			159	0,157	14,04	20	6	1,00	149
Controtterra Z. dir			x		282		14,04	20	6	0,00	0
N-E c. dir. Opaco		x			249	0,17	14,04	20	6	1,20	303
S-O c. dir. Opaco		x			404	0,17	14,04	20	6	1,05	430
N-O 1 corpo prod.	x				17	1	14,04	20	6	1,15	117
N-E corpo prod.	x				24	1	14,04	20	6	1,20	172
S-E corpo prod.	x				263	1	14,04	20	6	1,10	1724
S-O corpo prod.	x				31	1	14,04	20	6	1,05	194
Copert C prod Vetro	x				119	1	14,04	20	6	1,00	709
Copert C prod Opaco		x			1350	0,157	14,04	20	6	1,00	1263
Controtterra C. prod.			x		1474		14,04	20	6	0,00	0
N-O 1 c. prod. Opaco		x			91	0,17	14,04	20	6	1,15	107
N-E c. prod. Opaco		x			328	0,17	14,04	20	6	1,20	399
S-O c. prod. Opaco		x			38	0,17	14,04	20	6	1,05	40
N-O 2 c. prod. Opaco		x			12	0,17	14,04	20	6	1,15	14
										$\phi_{H,tr\ contro\ terra}$ [W]	7065
										$\phi_{H,tr\ tot}$ [W]	21206
										ore di utilizzo [h/gg]	24
										giorni di utilizzo [gg/mese]	16
										ore di utilizzo mese [h/mese]	384
										$Q_{H,tr}$ [kWh/mese]	8143

4.1.3. CALORE DISPERSO PER VENTILAZIONE $Q_{H,ve}$

Il calore disperso per ventilazione dipende principalmente dalla portata necessaria per mantenere una buona qualità dell'aria all'interno dell'ambiente. Questa sia calcola seguendo i parametri della UNI 10339 impone un ricambio di circa 40 m³/h persona.

Determinata la portata G_{ve} si trova $Q_{H,ve}$ come

$$Q_{H,ve} = G_{ve}^* C_{pa} (t_i - t_e) * \text{ore di utilizzo}$$

dove:

- C_{pa} [J/kgK] è il calore specifico dell'aria considerato pari a 1010 J/kgK
- G_{ve}^* [kg/K] è la portata d'aria corretta immessa nell'ambiente data da

$$G_{ve}^* = G_{ve} (1 - \eta_{recuperatore})$$

con $\eta_{recuperatore} = 0,7$.

Di seguito si riportano le tabelle relative alla portata d'aria e la calore disperso per ventilazione relativo a tutti i mesi della fase invernale.

PORTATA D'ARIA DA TRATTARE				
n°persone	costante UNI	q _v (portata voluminica)[m ³ /h]	volume specifico aria[m ³ /Kg]	G _{ve} [Kg/h]
40	40	1600	0,8	2000

DISPERSIONI PER VENTILAZIONE $Q_{H,ve}$							
mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
G _{ve} [Kg/h]	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
$\eta_{recuperatore}$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
G _{ve} [*] [Kg/h]	600	600	600	600	600	600	600
C _{pa} [J/kgK]	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010
ΔT [K]	6	12	17	19	16	11	7
ϕ_{ve} [W]	3344	6655	9460	10414	9236	6374	3737
ore di utilizzo diurne [h/gg]	11	11	11	11	11	11	11
giorni di utilizzo mese [gg/mese]	16	30	31	31	28	31	15
ore di utilizzo mensili [h/mese]	176	330	341	341	308	341	165
Q _{H,ve} [kWh/mese]	589	2196	3226	3551	2845	2174	617

4.1.4. GUADAGNI TERMICI INTERNI Q_{int}

Gli apporti interni sono dati da illuminazione, persone ed apparecchi.

Si considera mediamente che per l'illuminazione ci sia un apporto pari a 8 W/m², quindi conoscendo la superficie si può risalire al flusso termico dato.

I guadagni dati da persone e macchinari sono invece stati presi da tabelle fornite dal produttore di impianti di climatizzazione Clivet. Si può apprezzare nelle suddette tabelle come gli apporti cambino per il tipo di apparecchi e per il tipo di attività fisica svolta delle persone.

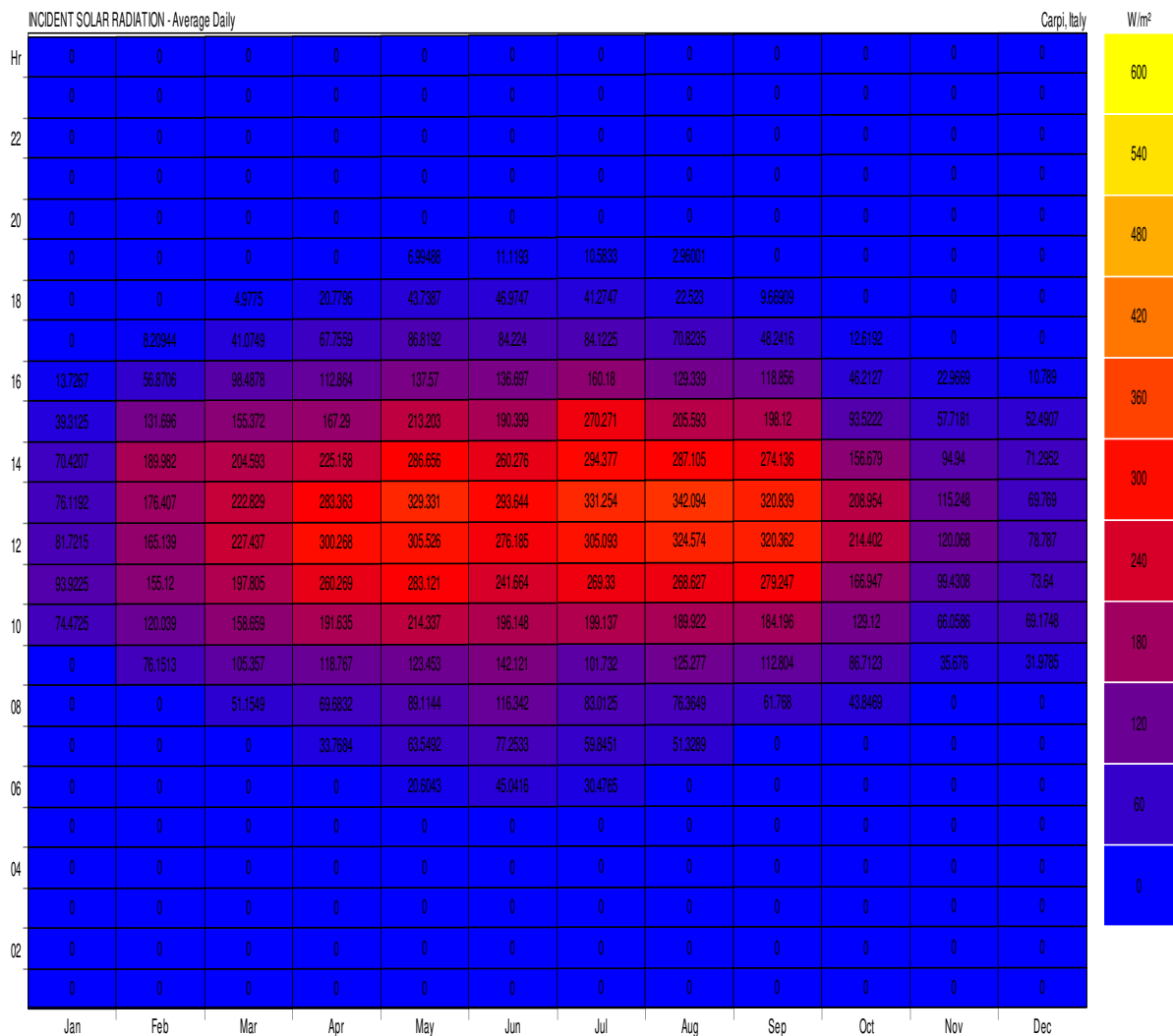
Di seguito si riporta la tabella relativa al calcolo di Q_{int} .

APPORTI INTERNI CALORE SENSIBILE Q			
ILLUMINAZIONE			
zona considerata	costante[W/m ²]	S[m ²]	Φ _{apporti interni} [W]
Corpo e Zona direttiva	8	5420	43360
			0
PERSONE			
persone	costante[W/persona]	n°	Φ _{apporti interni} [W]
lavoro sedentario	63	30	1890
lavoro in movimento	70	10	700
			0
APPARECCHI			
apparecchio	costante da tabelle[W]	n°	Φ _{apporti interni} [W]
computer	150	25	3750
fotocopiatrici	100	2	200
			0
	Φ _{int} [W]		49900
	ore di utilizzo diurne [h/gg]		11
	giorni di utilizzo mese [gg/mese]		30
	ore di utilizzo mensili [h/mese]		330
	Q _{int} [kWh/anno]		16467

4.1.5. APPORTI SOLARI Q_{sol}

Per il calcolo degli apporti solari è necessario determinare prima la radiazione solare. Questa è esplicitata nella norma UNI 10349 però solo relativamente al piano orizzontale. In questo studio è necessario conoscere la radiazione nelle diverse direzioni, inoltre nell'evoluzione del progetto era stata ipotizzata una superficie inclinata che necessitava di uno studio dedicato su questo argomento. La radiazione incidente sulle pareti diversamente orientate, per la località di Carpi, è stata quindi ottenuta con l'aiuto del software Autodesk Ecotect che la calcola a partire da parametri geografici del luogo e geometrici della superficie oggetto.

Si riporta di seguito il grafico con i valori orari relativi ad una parete orientata a sud.



La radiazione varia quindi ora in ora, nell'analisi dei consumi in stagione invernale non serve però conoscere il dato relativo ad un singolo istante, si può quindi lavorare con il valore medio diurno, a condizione che in seguito, nel calcolo dell'energia data per guadagno solare Q_{sol} , si rimoltiplichi il valor medio per il numero di ore di esposizione solare.

I valori di radiazione diurna incidente sulle diverse superfici, nei diversi mesi sono riportati nella tabella seguente.

RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE - MEDIA DIURNA [W/m ²]									
orientamento vetro	N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O	orizzontale
Jan	54	54	59	65	64	58	54	53	112
Feb	59	62	85	115	120	93	66	58	153
Mar	77	83	104	128	133	112	90	78	205
Apr	91	122	167	182	154	123	106	94	281
May	101	134	172	178	158	141	125	105	347
Jun	121	139	156	159	151	147	138	124	344
Jul	96	156	208	202	160	144	127	98	415
Aug	86	129	181	196	161	129	105	88	324
Sep	81	95	137	173	175	138	104	83	275
Oct	70	72	90	113	116	94	75	70	176
Nov	50	50	58	73	77	65	52	50	114
Dec	36	37	44	54	57	48	39	36	79

Un altro fattore incidente sui guadagni solari è il l'ombreggiamento. Questo è dato da edifici antistanti, da sporgenze orizzontali o verticali, come spiegato nella UNI TS 11300-1. Nell'appendice D della stessa sono riportate tabelle che indicano il fattore d'ombra, in dipendenza dell'angolo tra l'estremo delle diverse ostruzioni e il centro della finestra, per i diversi mesi:

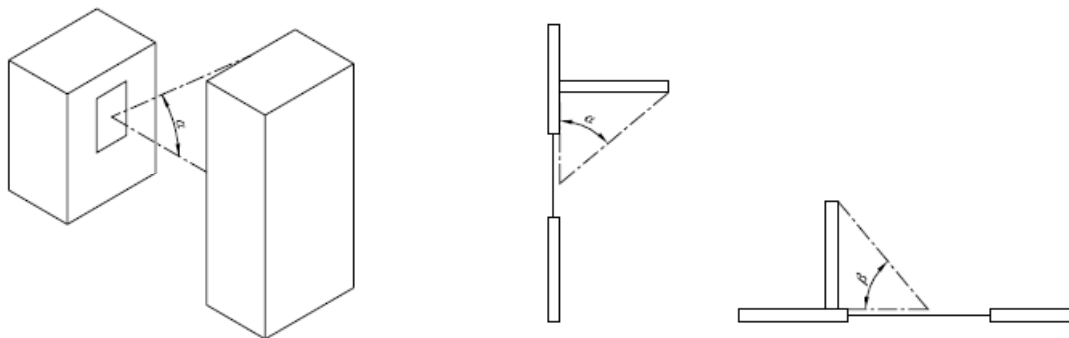


Figura 86 - Angoli per il calcolo del fattore d'ombra

D.1 Ostruzioni esterne

prospetto D.1 Fattore di ombreggiatura F_{hor} relativo ad ostruzioni esterne. Mese di GENNAIO

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,86	0,83	0,95	0,85	0,83	0,94	0,83	0,83	0,93	0,81	0,83	0,91	0,80	0,83	0,88	0,76	0,83
20°	0,85	0,67	0,67	0,82	0,65	0,67	0,77	0,63	0,67	0,70	0,60	0,67	0,59	0,58	0,67	0,47	0,54	0,67
30°	0,46	0,47	0,52	0,34	0,45	0,52	0,25	0,44	0,52	0,15	0,44	0,52	0,09	0,44	0,52	0,05	0,39	0,52
40°	0,05	0,37	0,38	0,05	0,33	0,38	0,05	0,30	0,38	0,05	0,27	0,38	0,05	0,23	0,38	0,04	0,21	0,38

D.2 Aggetti orizzontali

prospetto D.13 **Fattore di ombreggiatura F_{ov} relativo ad aggetti orizzontali. Mese di GENNAIO**

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,85	0,85	0,80	0,86	0,85	0,80	0,87	0,86	0,80	0,88	0,87	0,80	0,89	0,87	0,80	0,90	0,88	0,80
45°	0,77	0,80	0,72	0,78	0,81	0,72	0,80	0,81	0,72	0,81	0,83	0,72	0,82	0,83	0,72	0,84	0,85	0,72
60°	0,66	0,77	0,65	0,68	0,77	0,65	0,70	0,78	0,65	0,72	0,80	0,65	0,74	0,81	0,65	0,77	0,83	0,65

D.3 Aggetti verticali

prospetto D.25 **Fattore di ombreggiatura F_{fin} relativo ad aggetti verticali. Mese di GENNAIO**

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,91	0,73	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,71	0,89	0,92	0,70	0,89	0,92	0,68	0,89
45°	0,86	0,60	0,85	0,86	0,59	0,85	0,86	0,59	0,85	0,87	0,57	0,85	0,87	0,56	0,85	0,87	0,54	0,85
60°	0,79	0,46	0,80	0,79	0,46	0,80	0,80	0,45	0,80	0,80	0,43	0,80	0,80	0,42	0,80	0,80	0,38	0,80

Figura 87 - Tabelle dei fattori di ombreggiatura

Nel caso in esame gli ombreggiamenti sono dati prevalentemente dall'edificio antistante e dalle lame verticali montate in facciata. queste hanno profondità variabile. Nei casi in cui non potesse essere applicato il metodo proposto da normativa si è fatto ricorso al già citato software Autodesk Ecotect.

Si procede quindi al calcolo dei guadagni solari Q_{sol} applicando la formula

$$Q_{sol} = S * Rad * G * Omb * ore \text{ di utilizzo}$$

dove:

- Rad [W/m²] è la radiazione incidente
- G [%] è il fattore solare del vetro applicato
- Omb [%] è l'ombreggiamento

Si riportano di seguito le tabelle relative ai guadagni solari relativi al mese di ottobre.

RADIAZIONI SOLARI ENTRANTI DAL VETRO					
superficie	S[m ²]	Radiazione [W/m ²]	G (fattore solare)	ombreggiamento	φ _{apporti solari} [W]
N-E corpo direzione	489	72	0,53	0,85	15905
N-O corpo direzione	123	70	0,53	0,85	3868
O corpo direzione	104	75	0,53	0,79	3266
S-O corpo direzione	249	94	0,53	0,731	9097
S corpo direzione	32	116	0,24	1	891
S-E corpo direzione	36	113	0,24	1	979
E corpo direzione	32	90	0,24	1	693
Copert C. dir. Vetrato	178	176	0,65	0,8	16254
Copert C. dir. Opaco	1171	0		0	0
Controtterra C. dir	1022	0		0	0
Giardino controtterra	136	0		0	0
S-O zona direzione	39	94	0,53	0,2	390
S-E zona direzione	77	113	0,53	0,2	925
Copert. Z. dir. Opaco	159	0		0	0
Controtterra Z. dir	282	0		0	0
N-E c. dir. Opaco	249	0		0	0
S-O c. dir. Opaco	404	0		0	0
N-O 1 corpo prod.	17	70	0,48	0,4	228
N-E corpo prod.	24	72	0,48	0,4	333
S-E corpo prod.	263	113	0,37	0,4	4410
S-O corpo prod.	31	94	0,48	0,4	561
Copert C prod Vetro	119	176	0,4	0,6	5015
Copert C prod Opaco	1350	0		0	0
Controtterra C. prod.	1474	0		0	0
N-O 1 c. prod. Opaco	91	0		0	0
N-E c. prod. Opaco	328	0		0	0
S-O c. prod. Opaco	38	0		0	0
N-O 2 c. prod. Opaco	12	0		0	0
φ _{sol} [W]					62814
ore di utilizzo diurne [h/gg]					10
giorni di utilizzo mese [gg/mese]					30
ore di utilizzo mensili [h/mese]					300
Q _{sol} [kWh/mese]					18844

4.1.6. FATTORE DI UTILIZZAZIONE DEGLI APPORTI TERMICI $\eta_{H,gn}$

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$ è un fattore di riduzione degli stessi che serve a compensare le dispersioni addizionali che si verificano quando i guadagni sono maggiori delle dispersioni.

Anche nel periodo freddo i guadagni termici, dovuti al Sole od alle fonti interne, possono non essere utili o risultare degli oneri, quando non sono in fase con la domanda termica. Questo vale in particolare per i guadagni solari, che sono massimi quando le dispersioni sono minime. In questi casi i guadagni, se sono di entità superiore a quella delle dispersioni, anziché contribuire a coprire il carico da riscaldamento, provocano surriscaldamento; dunque possono tradursi semplicemente in dispersioni maggiori oppure, nei periodi meno freddi, in carichi addizionali di raffrescamento per l'impianto di climatizzazione.

Come si vedrà nel seguito il loro coefficiente di utilizzo aumenta con la capacità termica della zona termica considerata, ovvero con la sua capacità di accumulare il calore relativo ai guadagni ed utilizzarlo in tempi differiti.

Il fattore di utilizzo viene calcolato in funzione dei parametri γ_H e τ .

Il primo rappresenta il rapporto tra guadagni e dispersioni:

$$\gamma_H = \frac{Q_{int} + Q_{sol}}{Q_{tr} + Q_{ve}} = \frac{Q_{gn}}{Q_{H,ht}}$$

mentre il secondo rappresenta la costante di tempo della zona termica espressa in ore:

$$\tau = \frac{C}{H * 3600}$$

dove C è la capacità termica interna della zona termica o dell'edificio [J/K], calcolata come di seguito illustrato, ed al denominatore compare la somma dei coefficienti di scambio termico per trasmissione e ventilazione [W/K] per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, somma che costituisce il coefficiente globale di scambio termico della zona.

Le formule sono rispettivamente

$$C = \sum \gamma_{s,mj} S_j c_{s,mj}$$

dove:

- S_j [m²] superficie pareti con alta inerzia termica o comunque isolate termicamente
- $\gamma_{s,mj}$ [kg/m²] densità media superficiale dei diversi strati dei pacchetti precedenti lo strato di isolamento
- $c_{s,mj}$ [Wh/kgK] calore specifico medio dei diversi strati dei pacchetti precedenti lo strato di isolamento

Questi valori medi sono dati da

$$\gamma_{s,mj} = \frac{\sum \gamma_{sk}}{k}$$

$$c_{s,mj} = \frac{\sum c_{sk}}{k}$$

dove k è riferito ai diversi strati dei pacchetti.

Il fattore di utilizzazione dei guadagni termici $\eta_{H,gn}$ è quindi così calcolato:

$$\eta_{H,gn} = \begin{cases} \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} & se \gamma_H > 0 \wedge \gamma_H \neq 1 \\ \frac{a_H}{a_H + 1} & se \gamma_H = 1 \end{cases}$$

dove a è un parametro numerico dipendente dalla costante di tempo τ e così definito:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si può assumere $a_{H,0} = 0,8$ e $\tau_{H,0} = 70$ h per edifici riscaldati solo di giorno.

Si riportano i calcoli eseguiti.

FATTORE DI UTILIZZAZIONE CARICHI INTERNI $\eta_{H,gn}$

Rapporto tra guadagni e dispersioni γ_H

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
Q_{int} [kWh/anno]	16467	16467	16467	16467	16467	16467	16467
Q_{sol} [kWh/anno]	18844	8687	6182	7717	12924	23138	33110
Q_{gn} [kWh/anno]	35311	25154	22649	24184	29391	39605	49577
$Q_{H,tr}$ [kWh/anno]	8143	25348	35019	38020	30992	25310	8232
$Q_{H,ve}$ [kWh/anno]	589	2196	3226	3551	2845	2174	617
$Q_{H,ht}$ [kWh/anno]	8732	27544	38245	41571	33837	27483	8849
γ_H	4,0	0,9	0,6	0,6	0,9	1,4	5,6

Costante di tempo nella zona termica τ

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
$\phi_{H,ht}$ [kW]	23	38	51	56	50	37	25
ΔT [K]	6	12	17	19	16	11	7
H [W/K]	3815	3226	3049	3011	3059	3252	3691
C [J/K]	578523275						
τ [h]	42,12	49,82	52,71	53,38	52,53	49,42	43,54

Parametro a_H dipendente dalla costante di tempo

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
a_H	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4

Si può infine trovare $\eta_{H,gn}$ come:

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
$\eta_{H,gn}$	0,22	0,63	0,75	0,76	0,65	0,49	0,17

4.1.7. INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICO EPI

Si può ora calcolare l'indice di prestazione EPI come precedentemente spiegato:

$$EPI = \frac{Q_{H,nd}}{V_{riscaldato} \eta_g}$$

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA INVERNALE EPI

Si calcola l'energia netta utilizzata dall'edificio Q_H

$$Q_H = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol})$$

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
Q_{int} [kWh/mese]	16467	16467	16467	16467	16467	16467	16467
Q_{sol} [kWh/mese]	18844	8687	6182	7717	12924	23138	33110
$Q_{H,tr}$ [kWh/mese]	8143	25348	35019	38020	30992	25310	8232
$Q_{H,ve}$ [kWh/mese]	589	2196	3226	3551	2845	2174	617
$\eta_{H,gn}$	0,22	0,63	0,75	0,76	0,65	0,49	0,17
Q_H [kWh/mese]	961	11723	21147	23168	14731	8090	637

Si calcola il rendimento globale stagionale η_g

$$\eta_g = \eta_e \eta_c \eta_d \eta_p$$

dove

$\eta_e = 0,95$	η_e è il rendimento dei terminali
$\eta_c = 0,98$	η_c è il rendimento relativo al controllo/regolazione
$\eta_d = 0,97$	η_d è il rendimento della distribuzione
$\eta_p = 0,93$	η_p è il rendimento della produzione

η_g	0,84
----------	------

Si trova infine l'Epi come

$$EPI = \frac{Q_H}{V_{riscaldato} \eta_g}$$

dove $V_{riscaldato}$ è il volume riscaldato

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
$V_{riscaldato}$ [m ³]	22747						
EPI [kWh/m ³ mese]	0,05	0,61	1,11	1,21	0,77	0,42	0,03
EPI [kWh/m ³ anno]	4,21						

4.1.8. COMFORT TERMICO E PERIODO DI RAFFRESCAMENTO ESTIVO

Il comfort termico è definito come "la condizione mentale che esprime la soddisfazione per l'ambiente termico, incluse tutte le valutazioni soggettive". Il corpo umano non è infatti una macchina termica passiva, ma è omeotermo, reagisce all'ambiente con diversi meccanismi di compensazione. La "temperatura neutrale di comfort" t_c , cioè la temperatura media preferita da un gruppo di persone varia quindi con i fattori esterni, quali la temperatura, ed è definita come

$$t_c = 17,6 + 0,31t_e$$

dove t_e è la temperatura media del mese precedentemente calcolata.

Questi coefficienti sono basati sugli studi compiuti da Aulociems che ha elaborato un modello psico-fisiologico della percezione termica.

Per determinare il periodo dell'anno nel quale viene azionato il sistema di raffrescamento si valuta quali sono i mesi nei quali si supera una certa temperatura limite. Solitamente questa soglia è pari a 26°C, in questo studio viene però applicata la formula sopra-riportata. Si può quindi considerare come soglia limite, oltre la quale raffrescare in fase estiva, la temperatura di 25°C, come illustra la tabella seguente.

Se si confronta questo valore con i dati climatici degli ultimi 30 anni della città di Carpi, rilevati dalla stazione meteorologica di Bologna, si nota che è superato solo nei mesi di giugno, luglio, agosto. si considerano quindi solo questi mesi soggetti a climatizzazione estiva.

SOGLIA LIMITE OLTRE LA QUALE INIZIARE A RAFFRESCARE

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
t_e [C°]	1,4	3,5	8,6	13,3	17,2	21,8	24,3	23,8	23,1	14	8,1	3,1
t_c [C°]	18	19	20	22	23	24	25	25	25	22	20	19

t_c estate [C°]	25
-------------------	----

Mese	T min	T max	Precip.	Umidità	Vento	Eliofania
Gennaio	-2 °C	5 °C	43 mm	83 %	WNW 9 km/h	3 ore
Febbraio	1 °C	8 °C	45 mm	78 %	WNW 9 km/h	3 ore
Marzo	4 °C	13 °C	60 mm	70 %	ENE 9 km/h	5 ore
Aprile	8 °C	18 °C	67 mm	71 %	E 9 km/h	6 ore
Maggio	12 °C	23 °C	65 mm	69 %	E 9 km/h	7 ore
Giugno	16 °C	27 °C	53 mm	68 %	ENE 9 km/h	9 ore
Luglio	18 °C	30 °C	43 mm	65 %	ENE 9 km/h	9 ore
Agosto	18 °C	29 °C	58 mm	66 %	ENE 9 km/h	8 ore
Settembre	15 °C	25 °C	61 mm	69 %	ENE 4 km/h	7 ore
Ottobre	10 °C	19 °C	72 mm	76 %	ENE 4 km/h	5 ore
Novembre	4 °C	11 °C	81 mm	84 %	WNW 4 km/h	3 ore
Dicembre	0 °C	6 °C	61 mm	84 %	W 9 km/h	2 ore

Archivio meteo • Consulta anche l'archivio dei dati storici rilevati giorno per giorno

Medie mensili riferite agli ultimi 30 anni, basate sui dati della stazione di Bologna

Link veloci: [Italia](#) > [Emilia Romagna](#) > [Modena \(MO\)](#) > [Modena](#)

Figura 88 - Temperature minime e massime nel trimestre

4.1.9. FATTORE DI UTILIZZAZIONE DELLE DISPERSIONI TERMICHE $\eta_{C,ls}$

Il calcolo del fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche $\eta_{C,ls}$ è analogo a quello degli apporti termici $\eta_{H,gn}$. Le uniche differenze consistono nella determinazione del parametro a_c

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}} + k \frac{A_w}{A_{pav}}$$

dove compaiono A_w e A_{pav} come superficie finestrata e pavimentata, e $a_{c,0} = 8,1$; $\tau_{c,0} = 17$ h e il coefficiente $k = 13$.

Inoltre la definizione dello stesso fattore diventa

$$\eta_{C,ls} = \begin{cases} \frac{1 - \gamma_C^{-a_c}}{1 - \gamma_C^{-(a_c+1)}} & se \gamma_C > 0 \wedge \gamma_C \neq 1 \\ \frac{a_c}{a_c + 1} & se \gamma_C = 1 \\ 1 & se \gamma_C = 0 \end{cases}$$

Si riportano le tabelle relative al calcolo.

FATTORE DI UTILIZZAZIONE PER DISPERSIONI TERMICHE $\eta_{C,ls}$ Rapporto tra guadagni e dispersioni γ_H

mese	Giugno	Luglio	Agosto
Q_{int} [kWh/mese]	10695	10695	10695
Q_{sol} [kWh/mese]	47664	47723	41179
Q_{gn} [kWh/mese]	58359	58418	51874
$Q_{C,tr}$ [kWh/mese]	5419	10138	8625
$Q_{C,ve}$ [kWh/mese]	353	839	677
$Q_{C,ht}$ [kWh/mese]	5772	10977	9302
γ_C	10,1	5,3	5,6

Costante di tempo nella zona termica τ

mese	Giugno	Luglio	Agosto
$\Phi_{H,ht}$ [kW]	8	15	13
ΔT [K]	2	5	4
H [W/K]	3682	2850	2993
C [J/K]	502002756		
τ [h]	37,87	48,93	46,59

Parametro a_C è dato da

A_w [m ²]	2012		
A_{pav} [m ²]	4370		
mese	Giugno	Luglio	Agosto
a_H	16,3	17,0	16,8

Si può infine trovare $\eta_{C,ls}$ come:

mese	Giugno	Luglio	Agosto
$\eta_{H,gn}$	1,00	1,00	1,00

4.1.10. INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICO EPe

Si può quindi calcolare l'indice di prestazione EPe a partire dall'energia netta scambiata $Q_{C,nd}$:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls}(Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

dove le dispersioni e gli apporti sono calcolati come precedentemente illustrato.

EPe si trova infine come

$$EPe = \frac{Q_{C,nd}}{V_{raffrescato} \eta_g}$$

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA ESTIVO EPe

Si calcola l'energia netta consumata dall'edificio $Q_{C,nd}$

mese	Giugno	Luglio	Agosto
Q_{int} [kWh/mese]	10695	10695	10695
Q_{sol} [kWh/mese]	47664	47723	41179
$Q_{C,tr}$ [kWh/mese]	5419	10138	8625
$Q_{C,ve}$ [kWh/mese]	353	839	677
$\eta_{C,ls}$	1,00	1,00	1,00
$Q_{C,nd}$ [kWh/mese]	52587	47442	42572

Si calcola il rendimento globale stagionale η_g

$$\eta_g = \eta_e \eta_c \eta_d \eta_p$$

dove

$\eta_e = 0,95$	η_e è il rendimento dei terminali
$\eta_c = 0,98$	η_c è il rendimento relativo al controllo/regolazione
$\eta_d = 0,97$	η_d è il rendimento della distribuzione
$\eta_p = 0,93$	η_p è il rendimento della produzione

η_g	0,84
----------	------

Si trova infine EPe come:

mese	Giugno	Luglio	Agosto
$V_{riscaldato}$ [m ³]	22747		
EPe [kWh/m ³ mese]	2,75	2,48	2,23
EPe [kWh/m ³ anno]	7,46		

4.1.11. FABBISOGNO ANNUALE DI ACQUA CALDA SANITARIA (EPacs)

Per il calcolo del fabbisogno annuale di energia primaria per l'ACS ci siamo riferiti ai metodi di calcolo suggeriti dalla norma UNI TS 11300 - 2.

Fabbisogni di energia per acqua calda sanitaria

L'energia termica $Q_{h,W}$ richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,W} = \sum_i \rho \times c \times V_W \times (\theta_{er} - \theta_O) \times G \quad [\text{Wh}] \quad (4)$$

dove:

ρ è la massa volumica dell'acqua [kg/m^3];

c è il calore specifico dell'acqua pari a $1,162$ [$\text{Wh}/\text{kg } ^\circ\text{C}$];

V_W è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m^3/G];

θ_{er} è la temperatura di erogazione [$^\circ\text{C}$];

θ_O è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [$^\circ\text{C}$];

G è il numero dei giorni del periodo di calcolo [G].

Volumi di acqua richiesti

I volumi di acqua calda sanitaria sono riferiti convenzionalmente ad una temperatura di erogazione di 40 $^\circ\text{C}$ e ad una temperatura di ingresso di 15 $^\circ\text{C}$. Il salto termico di riferimento ai fini del calcolo del fabbisogno di energia termica utile è, quindi, di 25 K.

I valori di fabbisogno giornaliero sono riferiti a dati medi giornalieri.

Il volume è dato da:

$$V_W = a \times N_u \quad [\text{l/G}]$$

dove:

a è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G];

N_u è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio vedere punto 5.2.1.1 per le abitazioni e punto 5.2.1.2 per destinazioni diverse.

Dato che il calcolo consigliato per il volume di acqua richiesta non rispecchia le stime effettuate durante l'analisi sul consumo e il recupero delle acque da noi svolta, abbiamo deciso di adottare come valore di progetto quello calcolato da noi per il recupero dell'acqua. I due valori risultano differenti perché l'edificio ospita un mix di funzioni che non possono essere riassunte solo come "uffici", per cui le nostre considerazioni risultano più realistiche, anche perché tengono già conto dei consumi ridotti dovuti alla presenza di areatori, riduttori di flusso e altre soluzioni per il risparmio idrico, inoltre l'edificio presenta grandi superfici calpestabili ed un numero esiguo di occupanti, la norma prende come parametro proprio questa superficie che farebbe sovrastimare i consumi effettivi.

I fabbisogni dell'appartamento in l/g sono riferiti all'intera richiesta di acqua potabile giornaliera più il 40% di quella "non potabile" (la distinzione tra potabile e non potabile

si riferisce sempre alla definizione spiegata nel paragrafo dedicato al recupero delle acque). Per gli uffici invece è il risultato della somma dei consumi di acqua potabile per la zona direttiva e quella produttiva.

Fabbisogno app.	328	l/g
$Q_{h,w}$	9528	Wh/g
	10	kWh/g

Fabbisogno uff.	475	l/g
$Q_{h,w}$	13799	Wh/g
	14	kWh/g

$Q_{h,w} \times 365$ giorni	3478	kWh/anno
-----------------------------	------	----------

$Q_{h,w} \times 365$ giorni	5037	kWh/anno
-----------------------------	------	----------

A questo punto abbiamo stimato le perdite di sistema dovute ad erogazione, distribuzione e generazione correggendo $Q_{h,w}$ mediante coefficienti riduttivi. Si calcola infine il fabbisogno di acqua calda sanitaria dividendo il risultato ottenuto per il volume dell'edificio.

PERDITE APPARTAMENTO

Erogazione = η_e	0,95	$Q_{h,w}/\eta_e$	3661	kWh/anno
Distribuzione = η_d	0,95	$/\eta_d$	3854	kWh/anno
Generazione = η_g	0,85	$/\eta_g$	4534	kWh/anno

PERDITE UFFICI

Erogazione = η_e	0,95	$Q_{h,w}/\eta_e$	5302	kWh/anno
Distribuzione = η_d	0,95	$/\eta_d$	5581	kWh/anno
Generazione = η_g	0,85	$/\eta_g$	6565	kWh/anno

EP_{acs}	11099	kWh/anno
	0,49	kWh/m ³ anno

4.1.12. DETERMINAZIONE DELLA CLASSE ENERGETICA

Come spiegato ad inizio capitolo, la legislazione italiana fa riferimento all'indice di prestazione globale per la certificazione energetica:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs}$$

E' prevista una tripla classificazione che considera ognuno dei parametri citati. A seconda del valore risultante si entra nella rispettiva fascia energetica.

Di seguito sono riportate le tabelle relative alle fasce energetiche e il risultato ottenuto con in progetto in esame.

EPI		EPacs		EPgl	
Ai+	< 3,3 kWh/m ³ anno	Aacs	< 2,1 kWh/m ³ anno	Agl+	< 5,5 kWh/m ³ anno
Ai	< 6,7 kWh/m ³ anno	Bacs	< 2,9 kWh/m ³ anno	Agl	< 8,8 kWh/m ³ anno
Bi	< 10,0 kWh/m ³ anno	Cacs	< 4,3 kWh/m ³ anno	Bgl	< 12,9 kWh/m ³ anno
Ci	< 13,3 kWh/m ³ anno	Dacs	< 5,0 kWh/m ³ anno	Cgl	< 17,6 kWh/m ³ anno
Di	< 16,7 kWh/m ³ anno	Eacs	< 5,7 kWh/m ³ anno	Dgl	< 21,7 kWh/m ³ anno
Ei	< 23,3 kWh/m ³ anno	Facs	< 7,1 kWh/m ³ anno	Egl	< 29,0 kWh/m ³ anno
Fi	< 33,3 kWh/m ³ anno	Gacs	> 7,1 kWh/m ³ anno	Fgl	< 40,5 kWh/m ³ anno
Gi	> 33,3 kWh/m ³ anno			Ggl	> 40,5 kWh/m ³ anno

EPI	4,21 kWh/m³anno	Classe Ai
EPacs	0,49 kWh/m³anno	Classe Aacs
EPgl	4,7 kWh/m³anno	Classe Agl+

Figura 89 - Determinazione della classe energetica

4.2. TIPOLOGIA DI IMPIANTO ADOTTATA

L'edificio in esame è costituito da due corpi quasi del tutto indipendenti dal punto di vista funzionale. Il corpo produzione è costituito prevalentemente da un grande locale che racchiude il magazzino e la produzione. La produzione non è una produzione massiva, ma si tratta solo del campionario, non è quindi a ciclo continuo e può essere suscettibile di periodi di blocco.

Nella scelta dell'impianto si è quindi optato per avere due impianti indipendenti nelle due zone per potere eventualmente escluderne una.

Le zone che interessano i due sistemi impiantistici non coincidono con i volumi architettonici: nel corpo produzione sono infatti presenti la residenza del custode e gli uffici della produzione che possono rimanere attivi indipendentemente dell'attività della stessa. La zona produzione viene quindi circoscritta al solo ambiente del magazzino, la zona direzione è invece rappresentata dal resto degli ambienti.

In entrambe le zone si è scelto un sistema misto con ventilazione forzata e aria trattata per mezzo di una UTA e sistema radiante a pavimento. Un sistema a soffitto sarebbe stato più efficiente, ma la scelta di mantenere i pannelli del solaio in legno a vista e l'elevata altezza nella zona produzione impediscono questa scelta. Per il trattamento dell'acqua passante per i pannelli e per la batteria della UTA è stata scelta una pompa di calore che a livello impiantistico ha delle ottime prestazioni energetiche rispetto ad una caldaia a combustione (che ovviamente risulta inutile in fase estiva).

Nella zona produzione la superficie radiante non copre tutta l'area del locale, perché sono state escluse le regioni occupate dalla scaffalatura.

I macchinari adottati sono quindi due pompe di calore e due UTA indipendenti per le diverse zone, ed una piccola caldaia necessaria per la batteria di post-riscaldamento estivo e per un'eventuale necessità di acqua calda sanitaria nel caso in cui risultassero insufficienti i pannelli solari termici disposti in copertura.

4.2.1. PROCEDIMENTO DI CALCOLO

Il procedimento operativo applicato per entrambi i sistemi è il seguente: prima è stata dimensionata la macchina di trattamento dell'aria, poi la superficie da coprire con il sistema radiante all'interno dell'intero edificio; in seguito sono stati dimensionati i canali di ventilazione, i ventilatori di mandata e di ripresa e le valvole da installare in prossimità dei diffusori.

Tutto il sistema deve poter soddisfare qualunque picco termico invernale o estivo, non si è valutato quindi, come per la determinazione dei consumi, tutto il periodo di funzionamento, ma solo piccoli intervalli critici. In fase invernale si è considerato il mese più rigido e in fase estiva l'ora più svantaggiosa.

Dopo aver trovato i picchi è stata calcolata la potenza e la portata necessaria per la UTA e per la pompa di calore e si è quindi scelta la macchina da applicare.

Di seguito è illustrato il procedimento di dimensionamento della macchina per la zona direzione e quello di dimensionamento dei canali per la zona produzione.

4.2.2. PICCO DEL FABBISOGNO TERMICO IN FASE INVERNALE

Come detto precedentemente è stato valutato mese più rigido che, osservando i dati climatici del comune di Carpi, corrisponde a gennaio.

Il fabbisogno termico invernale F_t è dato dalla somma delle dispersioni per trasmissione di tutte le chiusure Q_{te} e delle partizioni che danno su una zona climatizzata a temperatura differente. Il flusso termico uscente si calcola con la seguente formula:

$$Q_{te} = SK(t_i - t_e)AI$$

dove:

- S [m²] è la superficie della parete
- K [W/m²K] è la trasmittanza della parete
- t_e [°C] è la temperatura esterna del mese più rigido
- t_i [°C] è la temperatura interna considerata pari a 20°C in fase invernale
- A è un coefficiente di correzione relativo all'orientamento della parete
- I è un coefficiente amplificativo per il dimensionamento della macchina che costringe ad aumentare la potenza della stessa per soddisfare le esigenze termiche all'accensione dell'impianto. A volte non viene considerato perché questo sovradimensionamento è già compreso nella scelta della macchina in cui si sceglie un apparecchio con caratteristiche leggermente superiori a quelle richieste.

Il flusso passante per i solai contro-terra è calcolato con le stesse formule illustrate nell'analisi dei consumi.

TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE CHIUSURE TRASPARENTI ED OPACHE - MESE GENNAIO Q_{te}									
					mese →			Gennaio	
superficie	S[m ²]	K[W/m ² K]	T _e [°C]	T _i [°C]	ΔT [K]	A	I	Q _{te} [W]	
N-E corpo direzione	249	0,8	-2	20	22,00	1,2	1,2	6311	
N-O corpo direzione	123	0,8	-2	20	22,00	1,15	1,2	2987	
O corpo direzione	104	0,8	-2	20	22,00	1,1	1,2	2416	
S-O corpo direzione	190	0,8	-2	20	22,00	1,05	1,2	4213	
S corpo direzione	32	0,8	-2	20	22,00	1	1,2	676	
S-E corpo direzione	36	0,8	-2	20	22,00	1,1	1,2	836	
E corpo direzione	32	0,8	-2	20	22,00	1,15	1,2	777	
Copert C. dir. Vetrato	313	0,9	-2	20	22,00	1	1,2	7437	
Copert C. dir. Opaco	1171	0,17	-2	20	22,00	1	1,2	5255	
Controtterra C. dir	1022		-2	20	22,00	0	1,2	0	
Giardino controtterra	136		-2	20	22,00	0	1,2	0	
S-O zona direzione	39	0,8	-2	20	22,00	1,05	1,2	865	
S-E zona direzione	77	0,8	-2	20	22,00	1,1	1,2	1789	
Copert. Z. dir. Opaco	159	0,157	-2	20	22,00	1	1,2	659	
Controtterra Z. dir	282		-2	20	22,00	0	1,2	0	
N-E c. dir. Opaco	249	0,17	-2	20	22,00	1,2	1,2	1341	
S-O c. dir. Opaco	404	0,17	-2	20	22,00	1,05	1,2	1904	
								Q _{te tot} [W]	
								37467	

FABBISOGNO TERMICO INVERNALE F_t - MESE GENNAIO

Trasmissione attraverso le chiusure trasparenti ed opache $Q_{te tot}$ [W]	37467
Trasmissione attraverso le pareti interne $Q_{ti tot}$ [W]	750
Trasmissione attraverso il solaio controtterra $Q_{ct tot}$ [W]	3444
Fabbisogno termico invernale F_t [W]	41662

4.2.3. PICCO DEL FABBISOGNO FRIGORIFERO IN FASE ESTIVA

In fase estiva la determinazione del momento critico è più difficoltosa perché concorrono diversi fattori come i guadagni solari e la trasmissione termica attraverso le chiusure che non sono massime nello stesso momento. Abbiamo quindi ipotizzando tre situazioni e individuato l'ora critica come quelle in cui si raggiunge il massimo della somma di tutte le seguenti variabili:

- Apporti solari
- Trasmissione attraverso le chiusure vetrate
- Trasmissione attraverso le chiusure opache
- Trasmissione attraverso le chiusure contro-terra
- Trasmissione per le partizioni tra zone climatizzate a temperatura differente
- Apporti interni.

APPORTI SOLARI Q_{sol}

Le tre situazioni ipotizzate corrispondono a alle ore in cui è massima la radiazione solare incidente sulle grandi superfici vetrate dell'edificio.

Si considerano quindi:

IPOTESI 1	Luglio ore 15	radiazione max incidente S-O
IPOTESI 2	Luglio ore 9	radiazione max incidente N-E
IPOTESI 3	Luglio ore 13	radiazione max incidente Orizzontale

Si procede quindi al calcolo dei guadagni solari Q_{sol} applicando la stessa formula vista nel calcolo dei consumi.

$$Q_{sol} = S * Rad * G * Omb$$

dove:

- Rad [W/m^2] è la radiazione incidente
- G [%] è il fattore solare del vetro applicato
- Omb [%] è l'ombreggiamento

In questo caso l'ombreggiamento non può essere determinato analiticamente perchè la geometria degli elementi di ombreggiamento è molto varia. Lo studio dei fattori di ombreggiamento è quindi stato fatto con in software Autodesk Ecotect.

Alla fine dell'analisi si vedrà che l'orientamento critico è quello corrispondente all'ipotesi 3, si riporta qui quindi solo la tabella relativa a luglio ore 13. Le tabelle corrispondenti alle altre ipotesi sono invece presenti negli allegati.

IPOTESI 3			mese e ora →		luglio 13	
superficie	S[m ²]	Radiazione [W/m ²]	G (fattore solare)	ombreggiamento	Q _{apporti solari} [W]	
N-E corpo direzione	489	115	0,53	0,1	2980	
N-O corpo direzione	123	115	0,53	0,1	750	
O corpo direzione	104	115	0,53	0,5	3169	
S-O corpo direzione	249	211	0,53	1	27846	
S corpo direzione	32	331	0,24	1	2542	
S-E corpo direzione	36	305	0,24	1	2635	
E corpo direzione	32	178	0,24	0,5	684	
Copert C. dir. Vetrato	178	763	0,53	1	71981	
Copert C. dir. Opaco	1171	0	0	0	0	
Controtterra C. dir	1022	0	0	0	0	
Giardino controterra	136	0	0	0	0	
S-O zona direzione	39	211	0,53	1	4361	
S-E zona direzione	77	305	0,53	1	12447	
Copert. Z. dir. Opaco	159	0	0	0	0	
Controtterra Z. dir	282	0	0	0	0	
N-E c. dir. Opaco	249	0	0	0	0	
S-O c. dir. Opaco	404	0	0	0	0	
					Q _{apporti solari tot} [W]	
					129396	

TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE CHIUSURE VETRATE Q_{tv}

La trasmissione termica Q_{tv} [W] entrante attraverso le chiusure vetrate si calcola con la formula

$$Q_{tv} = S * K * \Delta T_c$$

dove:

- ΔT_c è la differenza di temperatura della temperatura esterna e interna corretta per i mesi e le ore considerate con il metodo seguente.

$$\Delta T_c = T_{esterna} + \text{corr } T_{mesi} + \text{corr } T_{ore} - T_{interna}$$

in questo caso però $\text{corr } T_{mesi}$ e $\text{corr } T_{ore}$ vengono presi direttamente dalle tabelle del produttore di impianti di condizionamento Carrier, presenti nell'allegato.

IPOTESI 3						mese e ora →		luglio	13
superficie	S[m ²]	K[W/m ² K]	T _e (T _{max})[°C]	corr T mesi[°C]	corr T ore[°C]	T _i [°C]	ΔT _c	Q _{tv} [W]	
N-E corpo direzione	489	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	978	
N-O corpo direzione	123	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	246	
O corpo direzione	104	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	208	
S-O corpo direzione	249	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	498	
S corpo direzione	32	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	64	
S-E corpo direzione	36	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	72	
E corpo direzione	32	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	64	
Copert C. dir. Vetrato	178	0,9	30	0	-1,5	26	2,50	401	
Copert C. dir. Opaco	1171	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
Controtterra C. dir	1022	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
Giardino controtterra	136	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
S-O zona direzione	39	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	78	
S-E zona direzione	77	0,8	30	0	-1,5	26	2,50	154	
Copert. Z. dir. Opaco	159	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
Controtterra Z. dir	282	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
N-E c. dir. Opaco	249	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
S-O c. dir. Opaco	404	0	30	0	-1,5	26	2,50	0	
								Q _{tv tot} [W]	2763

TRASMISSIONE ATTRAVERSO LE CHIUSURE OPACHE Q_{te}

La trasmissione attraverso le chiusure opache Q_{te} [W] è data da:

$$Q_{te} = S * K * \Delta T_{equivalente\ sito}$$

con:

- $\Delta T_{equivalente\ sito}$ [°C] differenza di temperatura equivalente nel sito di Carpi. Di seguito è riportato il metodo per ricavare tale parametro.

IPOTESI 3		mese e ora →	luglio	13
superficie	S[m ²]	K[W/m ² K]	ΔT _{equivalente sito}	Q _{te} [W]
N-E corpo direzione	489	0		0
N-O corpo direzione	123	0		0
O corpo direzione	104	0		0
S-O corpo direzione	249	0		0
S corpo direzione	32	0		0
S-E corpo direzione	36	0		0
E corpo direzione	32	0		0
Copert C. dir. Vetrato	178	0		0
Copert C. dir. Opaco	1171	0,17	9	1792
Controtterra C. dir	1022	0		0
Giardino controtterra	136	0		0
S-O zona direzione	39	0		0
S-E zona direzione	77	0		0
Copert. Z. dir. Opaco	159	0,157	8	200
Controtterra Z. dir	282	0		0
N-E c. dir. Opaco	249	0,17	3	127
S-O c. dir. Opaco	404	0,17	7	481
				Q _{te tot} [W]
				2599

Il calcolo del flusso termico estivo utilizza la formula di Fourier che parametrizza il ΔT di calcolo in base alla massa dell'elemento secondo il "Metodo della Differenza di Temperatura Equivalente". Questo metodo è anche chiamato "Cooling Load Temperature Difference Method (CLTD)" come descritto da William Bobenhausen in *Simplified Design of HVAC Systems*.

Con:

$$\Delta T_{equivalente} = CLTD$$

La formula applicata è la seguente:

$$CLTD_{corretto} = [(CLTD + LM) * K] + (78 [^{\circ}F] - T_i) + (T_e - 85 [^{\circ}F])$$

con:

CLTD_{corretto} = ΔT_{equivalente sito} nella zona di Carpi.

CLTD = ΔT_{equivalente} in dipendenza della massa della parete.

LM è un fattore di correzione dipendente dalla latitudine e dal mese considerato.

K è un coefficiente dipendente dal colore della facciata

T_i [°F] temperatura interna.

T_e [°F] temperatura esterna.

Grazie al produttore Carrier sono noti i valori di temperatura equivalente per il mese di luglio alla latitudine di 40°N ad una temperatura esterna a bulbo asciutto di 34°C, e una interna di 26°C e per diverse soluzioni tecniche.

Carpi si trova però alla latitudine di 44°N.

Invertendo la formula scritta precedentemente si può ricavare il valore CLTD in dipendenza della massa della parete, del suo orientamento e dell'ora del giorno, e valido per tutte le latitudini.

Riapplicando in seguito la formula inserendo i valori corretti di LM e K si può ricavare la ΔT_{equivalente sito} da applicare alla corretta latitudine e mese dell'anno.

Poiché i valori di LM sono riportati con uno scarto di 8°, è necessario interpolare i dati relativi a 40°N e 48°N per trovare i giusti valori da assegnare a LM. Le tabelle relative al calcolo del CLTD sono presenti nell'allegato.

DIFFERENZA DI TEMPERATURA EQUIVALENTE ΔT_{equivalente} PER IL SITO CONSIDERATO

superficie	peso parete [kg/m ²]	ora solare	CLTD _{corretto} = ΔT _{equivalente} tabella	LM	K	T _i [°C]	T _{int} [°F]	T _e [°C]	T _e [°F]	CLTD
orizzontale CO07	50	15	20,8	0	1	26	78,8	34	93,2	13,4
orizzontale CO08	200	15	18,1	0	1	26	78,8	34	93,2	10,7
orizzontale CO07	50	9	-3,1	0	1	26	78,8	34	93,2	-10,5
orizzontale CO08	200	9	1,3	0	1	26	78,8	34	93,2	-6,1
orizzontale CO07	50	13	13,1	0	1	26	78,8	34	93,2	5,7
orizzontale CO08	200	13	12,5	0	1	26	78,8	34	93,2	5,1
N-E CV03	50	15	6,9	0	1	26	78,8	34	93,2	-0,5
S-O CV04	50	15	18,6	0	1	26	78,8	34	93,2	11,2
N-E CV03	50	9	12,5	0	1	26	78,8	34	93,2	5,1
S-O CV04	50	9	-1,4	0	1	26	78,8	34	93,2	-8,8
N-E CV03	50	13	6,9	0	1	26	78,8	34	93,2	-0,5
S-O CV04	50	13	10,2	0	1	26	78,8	34	93,2	2,8

mese considerato	lat carpi	orientamento	LM 40°N	LM 48°N	LM 44°N	K _{progetto}	T _i prog. [°C]	T _i prog. [°F]	T _e carpi [°C]	T _e carpi [°F]	ΔT _{equivalente} sito
luglio	44°N	orizzontale CO07	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	15
luglio	44°N	orizzontale CO08	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	13
luglio	44°N	orizzontale CO07	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	-4
luglio	44°N	orizzontale CO08	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	-1
luglio	44°N	orizzontale CO07	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	9
luglio	44°N	orizzontale CO08	1	0	0,5	0,83	24	75,2	30	86	8
luglio	44°N	N-E CV03	0	0	0	0,83	24	75,2	30	86	3
luglio	44°N	S-O CV04	0	3	1,5	0,83	24	75,2	30	86	14
luglio	44°N	N-E CV03	0	0	0	0,83	24	75,2	30	86	8
luglio	44°N	S-O CV04	0	3	1,5	0,83	24	75,2	30	86	-2
luglio	44°N	N-E CV03	0	0	0	0,83	24	75,2	30	86	3
luglio	44°N	S-O CV04	0	3	1,5	0,83	24	75,2	30	86	7

CALORE SENSIBILE CRITICO Q_s

Il calore sensibile è la somma di tutte le variabili analizzate. Si trova il valore critico come in massimo relativo alle tre ipotesi considerate:

$$Q_{s \text{ critico}} = \max(Q_{s \text{ IPOTESI } 1}; Q_{s \text{ IPOTESI } 2}; Q_{s \text{ IPOTESI } 3})$$

e

$$Q_s = Q_{sol} + Q_{tv} + Q_{te} + Q_{ct} + Q_{ti} + Q_{int}$$

dove:

- Q_{sol} sono gli apporti solari
- Q_{tv} sono le trasmissioni attraverso le chiusure vetrate
- Q_{te} sono le trasmissioni attraverso le chiusure opache
- Q_{ct} sono le trasmissioni attraverso le chiusure contro-terra
- Q_{ti} sono le trasmissioni attraverso le partizioni tra ambienti climatizzati a temperature diverse.
- Q_{int} sono gli apporti interni

Gli apporti interni e le trasmissioni attraverso le chiusure contro-terra e le partizioni sono state svolte con lo stesso procedimento utilizzato in precedenza. Nei carichi interni è stato però considerato un numero maggiore di persone rispetto all'analisi fatta per determinare i consumi perché si sta cercando ora il picco termico estivo. Si considera quindi un totale di 75 persone che rappresentano un'eventuale affluenza nel caso di un evento organizzato.

Analizzando le tre ipotesi si trova che la situazione critica corrisponde all'ipotesi 3 (luglio ore 13). Il valore viene poi moltiplicato per un coefficiente amplificativo che accresce il risultato del 5%.

CALORE SENSIBILE CRITICO Q_s						
IPOTESI 1			mese e ora →		luglio	15
$Q_{\text{apporti solari}} [W]$	$Q_{\text{tvL}} [W]$	$Q_{\text{tel}} [W]$	$Q_{\text{ct}} [W]$	$Q_{\text{ti}} [W]$	$Q_{\text{apporti interni}} [W]$	$Q_{\text{sL}} [W]$
119896	4420	4399	-2354	750	64700	191811
IPOTESI 2			mese e ora →		luglio	9
$Q_{\text{apporti solari}} [W]$	$Q_{\text{tvL}} [W]$	$Q_{\text{tel}} [W]$	$Q_{\text{ct}} [W]$	$Q_{\text{ti}} [W]$	$Q_{\text{apporti interni}} [W]$	$Q_{\text{sL}} [W]$
70191	0	-620	-2354	750	64700	132667
IPOTESI 3			mese e ora →		luglio	13
$Q_{\text{apporti solari}} [W]$	$Q_{\text{tvL}} [W]$	$Q_{\text{tel}} [W]$	$Q_{\text{ct}} [W]$	$Q_{\text{ti}} [W]$	$Q_{\text{apporti interni}} [W]$	$Q_{\text{sL}} [W]$
129396	2763	2599	-2354	750	64700	197854

ORIENTAMENTO CRITICO	
$Q_{\text{s critico}} [W]$	197854
fattore di correzione 5%	0,05
ORIENTAMENTO CRITICO CORRETTO	
$Q_{\text{s critico corretto}} [W]$	207746

CALORE LATENTE Q_l

Per poter avere una buona qualità dell'aria all'interno di un ambiente è necessario controllare non solo la temperatura, ma anche il livello di umidità. Esseri umani ed alcune apparecchiature rilasciano nell'ambiente sia del calore sensibile che del calore latente sotto forma di vapore acqueo. Nel trattamento dell'aria sarà quindi necessario sottrarre il calore latente che viene calcolato sempre a partire da alcuni valori tabulati. Come per il calore sensibile, il valore viene poi accresciuto del 5%.

APPORTI INTERNI CALORE LATENTE Q_l - ZONA DIRETTIVA				$Q_{l \text{ tot}} [W]$	
PERSONE				5285	
persone	costante[W/persona]	n°	$Q_l [W]$	fattore di correzione 5%	
lavoro sedentario	69	70	4830	0,05	
lavoro in movimento	91	5	455	Q_l totale corretto	
			$Q_{l \text{ tot}} [W]$	$Q_{l \text{ tot}} \text{ corretto} [W]$	
			5285	5549	

4.2.4. DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE DI CLIMATIZZAZIONE

Prima di procedere con il dimensionamento delle macchine di climatizzazione è necessario trovare i picchi del fabbisogno frigorifero in tutti gli ambienti dell'edificio, questo perché sebbene le macchine vengano dimensionate per soddisfare la situazione più critica per l'intero edificio, non è detto che questa sia la stessa in ogni singolo locale, si fa quindi una seconda analisi per poter, in seguito, dimensionare la portata necessaria per ogni ambiente.

Di seguito la tabella riassuntiva per tutti i locali della zona direttiva.

TABELLA RIASSUNTIVA							
locale	n°persone	S netta[m ²]	S attivabile [m ²]	ESTATE			INVERNO
				Q _s [W]	Q _i [W]	Q _{tot} [W]	F _t (fabbisogno termico invernale)[W]
C. e Z. direzione	75	3473	3473	207746	5549	213296	41662
camerino	5	81	81	3446	478	3924	
custode camera	1	20	20	2151	72	2223	
custode soggiorno	3	51	51	6683	217	6900	
ingresso	5	227	227	41762	362	42124	
open corridoio	2	174	174	38785	191	38976	
open space	8	331	331	10935	580	11515	
sala relax magaz	4	62	62	8204	290	8494	
sala riunioni	10	66	66	10572	725	11296	
showroom	4	33	33	4475	290	4765	
spa	5	81	81	7162	4678	11839	
store	8	643	643	13268	626	13894	
ufficio direzione	1	30	30	2287	72	2360	
ufficio magazzino	3	37	37	4042	217	4259	
zona eventi	42	563	563	36477	3089	39566	
zona living	3	156	156	17296	217	17514	
zona pranzo	4	109	109	5394	290	5684	

Per definire la potenza e la portata dell'impianto di climatizzazione sia in fase estiva che invernale si eseguono i seguenti passaggi:

Fase estiva, determinazione:

- della portata d'aria da trattare
- della umidità assoluta da eliminare Δx
- della differenza di entalpia ΔJ e della differenza di temperatura per il post-riscaldamento ΔT
- del calore asportato Q_a
- della superficie radiante da attivare e della potenza dell'impianto radiante
- della portata d'aria da miscelare
- della differenza di entalpia ΔJ e della differenza di temperatura per il post-riscaldamento ΔT corrette dopo aver inserito un eventuale miscelatore
- della potenza delle batteria per il trattamento dell'aria in estate
- della potenza delle batteria per il post-riscaldamento estivo

Fase invernale, determinazione:

- della differenza di temperatura per il pre ed il post-riscaldamento
- del calore importato Q_{im}

- della superficie radiante da attivare
- della potenza delle batteria per il pre-riscaldamento invernale
- della potenza delle batteria per il post-riscaldamento invernale

-Scelta delle macchine di climatizzazione.

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:

La determinazione della portata d'aria da trattare può essere definita sia come portata voluminica q_v [m³/h] che come portata massica m [kg/h].

La norma UNI 10339 stabilisce che ci sia un ricambio d'aria pari a $11 \cdot 10^{-3}$ [m³/s per persona] che equivalgono circa a 40 [m³/h per persona].

Quindi:

$$q_v = 40 * n^{\circ}persone$$

e

$$m = q_v * volume\ specifico\ aria$$

con:

volume specifico aria [m³/kg] adottato pari a 0,8. In realtà il volume specifico dell'aria varia a seconda della temperatura e lo si dovrebbe leggere sul diagramma psicrometrico, 0,8 è però un valore abbastanza cautelativo, inoltre nella trasformazione dei valori indicati dalla norma UNI i 40 [m³/h per persona] per il ricambio sarebbero leggermente di meno, si opera quindi sempre a favore di sicurezza.

PORTATA D'ARIA DA TRATTARE					
locale	n°persone	costante UNI	q _v (portata voluminica)[m ³ /h]	volume specifico aria[m ³ /Kg]	m (portata massica)[Kg/h]
C. e Z. direzione	75	40	3000	0,8	3750
camerino	5	40	200	0,8	250
custode camera	1	40	40	0,8	50
custode soggiorno	3	40	120	0,8	150
ingresso	5	40	200	0,8	250
open corridoio	2	40	80	0,8	100
open space	8	40	320	0,8	400
sala relax magaz	4	40	160	0,8	200
sala riunioni	10	40	400	0,8	500
showroom	4	40	160	0,8	200
spa	5	40	200	0,8	250
store	8	40	320	0,8	400
ufficio direzione	1	40	40	0,8	50
ufficio magazzino	3	40	120	0,8	150
zona eventi	42	40	1680	0,8	2100
zona living	3	40	120	0,8	150
zona pranzo	4	40	160	0,8	200

DETERMINAZIONE DELLA UMIDITA' ASSOLUTA DA ELIMINARE:

Nel trattamento dell'aria si passa da una situazione iniziale di temperatura e umidità ad una finale che, in fase estiva, ha tipicamente un minor valore di questi due fattori. Per avere una buona qualità dell'aria bisogna quindi eliminare parte dell'umidità

proveniente dall'ambiente esterno a cui va sommata la componente Δx [g/kg] ottenuta dal calore latente.

La formula che lega Q_l e Δx è la seguente:

$$Q_l = m * C_v * \Delta x$$

con:

- Q_l [kcal/h] calore latente precedentemente calcolato
- C_v [kcal/kgK] capacità termica vapore pari a 0,6
- m [kg/h] portata massica

Quindi invertendo la formula:

$$\Delta x = \frac{Q_l}{m * C_v}$$

CALCOLO DELLA Uass (o Δx) DA ELIMINARE				
locale	m (portata massica)[Kg/h]	C_v (capacità termica vapore) [Kcal/Kg*K]	Q_l [Kcal/h]	Δx [g/Kg]
C. e Z. direzione	3750	0,6	6443	2,86
camerino	250	0,6	555	3,70
custode camera	50	0,6	84	2,80
custode soggiorno	150	0,6	252	2,80
ingresso	250	0,6	421	2,80
open corridoio	100	0,6	222	3,70
open space	400	0,6	673	2,80
sala relax magaz	200	0,6	336	2,80
sala riunioni	500	0,6	841	2,80
showroom	200	0,6	336	2,80
spa	250	0,6	5431	36,21
store	400	0,6	727	3,03
ufficio direzione	50	0,6	84	2,80
ufficio magazzino	150	0,6	252	2,80
zona eventi	2100	0,6	3586	2,85
zona living	150	0,6	252	2,80
zona pranzo	200	0,6	336	2,80

DETERMINAZIONE DELLA DIFFERENZA DI ENTALPIA ΔJ E DELLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA PER IL POST RISCALDAMENTO ΔT:

E' possibile ora determinare la differenza di entalpia ΔJ [kcal/kg] e la differenza di temperatura per il post-riscaldamento ΔT [°C] necessari per il trattamento dell'aria. Ci si serve in questa fase del diagramma psicrometrico: con

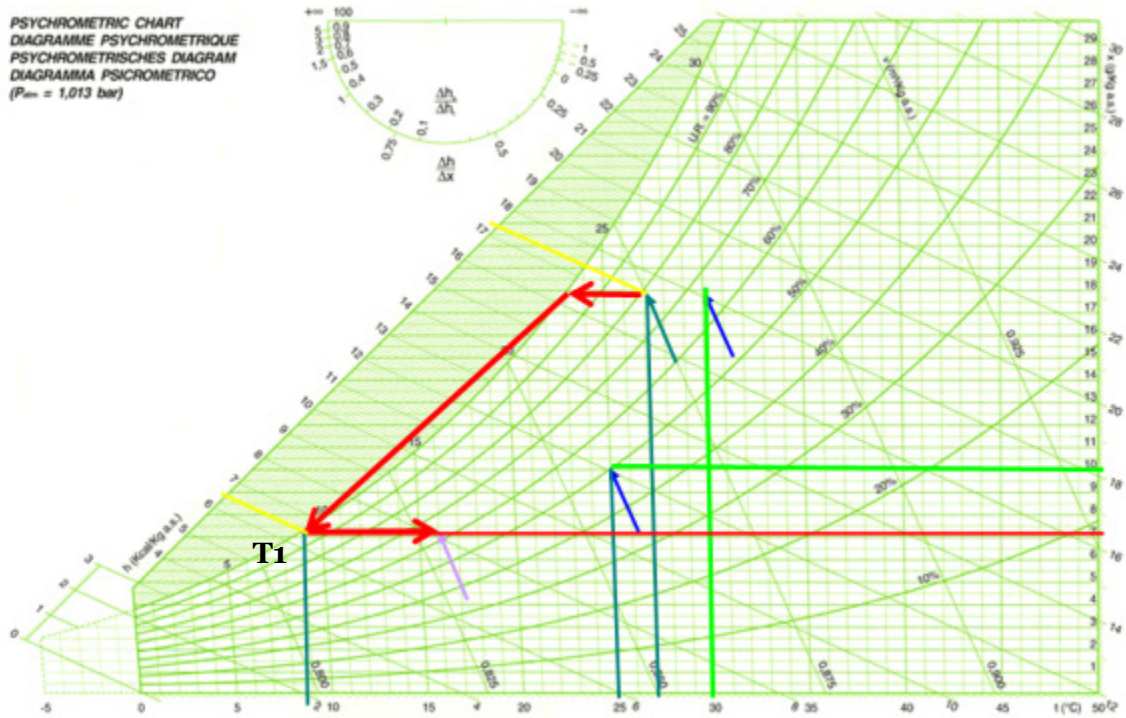


Figura 90 - Diagramma psicrometrico estivo con scambiatori di calore

- Inizio e fine
- T_{inizio} e U_{fine} senza considerare scambiatore di calore e Δx
- °C
- Scambiatore di calore
- Entalpia
- Immissione

condizioni:			
	T[°C]	U _r [%]	
inizio	30	65	
fine	25	50	
immissione	16	50	U _r relativa a T _{fine}
scambiatore di calore:			
utilizzo	η [%] rendimento (di solito 50,60%)	T _m [°C]	U _r relativa a T _{inizio}
x	60	27,09	65
Δx per dimensionare l'impianto generale [g/Kg]			
2,86			
entalpia:			
	J[Kcal/Kg]		
J _{inizio}	17,4		
J ₁	6,5		
ΔJ	10,9		
se per deumidificare la T va sotto 16 °C allora bisogna post riscaldare:			
	T[°C]		
T ₁	9		
T _{immissione}	16		
ΔT post	7		

In fase estiva i processi sono quelli di raffreddamento e deumidificazione dell'aria, seguiti eventualmente da quello di post-riscaldamento per non immettere un flusso a temperatura troppo bassa.

La condizione iniziale è quella relativa alla situazione più sfavorevole trovata nell'analisi del picco del fabbisogno estivo, si tratta quindi del mese di luglio con una temperatura esterna diurna pari a 30 °C e un'umidità relativa pari a 65% (dati presi dalla stazione meteo di Bologna).

La condizione finale è quella desiderata dove per temperatura desiderata si considera la temperatura neutrale di comfort illustrata nell'analisi dei consumi t_c.

L'immissione è solitamente pari a 10°C in meno rispetto alle condizioni interne desiderate, senza andare però mai sotto i 16°C. Nel trattamento dell'aria si vuole eliminare anche l'umidità data dal calore latente Q_l sottraendo quindi la Δx precedentemente calcolata.

Per determinare il punto di immissione ci si sposta quindi, a partire da punto finale, prima orizzontalmente fino a 16°C e poi verticalmente di -Δx.

Nel trattamento dell'aria si considera uno scambiatore di calore che incrociando il flusso di aria in uscita ed in entrata permette di spostare il punto iniziale di trattamento dell'aria orizzontalmente sul diagramma psicrometrico, cambia quindi la temperatura iniziale, ma l'umidità assoluta da trattare rimane invariata. Il rendimento η considerato è pari a 60% quindi la temperatura media T_m dopo il passaggio nello scambiatore è data da:

$$T_m = \frac{T_{fine} * \eta + (100 - \eta) * T_{inizio}}{100}$$

Dopo aver trovato T_m e quindi il punto di partenza per iniziare a trattare l'aria ci si sposta orizzontalmente sul diagramma psicrometrico fino ad intersecare la curva di umidità relativa 100%.

Analogamente si fa a partire dal punto di immissione, il punto di intersezione lo si chiama T_1 .

Ci si muove quindi su questa curva fino ad incontrare le due rette tracciate.

Lo schema risultante rappresenta i trattamenti necessari: dal punto di partenza fino a T_1 avviene il processo di rinfrescamento e conseguente deumidificazione rappresentato anche dalle linee gialle oblique che indicano le isoentalpiche; da T_1 fino al punto di immissione si esegue il post-riscaldamento.

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA D'ARIA DA TRATTARE:

In un impianto misto il Q_s estivo viene in parte eliminato dal sistema radiante, in parte dall'UTA, l'immissione di aria a temperatura inferiore a quella desiderata sottrae infatti calore che viene chiamato calore asportato Q_a [kcal/h] e si calcola come:

$$Q_a = m * C_s * \Delta T_{asportato}$$

con:

- m [kg/h] portata massica
- C_s [kcal/kgK] calore specifico aria pari a 0,29 kcal/kgK
- $\Delta T_{asportato}$ [K] è la differenza tra la temperatura desiderata T_{fine} e la temperatura di immissione ed è quindi per definizione pari a 10°C.

CALORE ASPORTATO (Q_a) CON L'IMMISSIONE DI ARIA A T PIU' BASSA RISPETTO A QUELLA DESIDERATA

locale	m (portata massica)[Kg/h]	C_s (calore specifico)[Kcal/Kg*K]	$\Delta T_{asportato}$ (tra $T_{interna}$ e $T_{immissione}$)[K]	Q_a [Kcal/h]
C. e Z. direzione	3750	0,29	10	10875
camerino	250	0,29	10	725
custode camera	50	0,29	10	145
custode soggiorno	150	0,29	10	435
ingresso	250	0,29	10	725
open corridoio	100	0,29	10	290
open space	400	0,29	10	1160
sala relax magaz	200	0,29	10	580
sala riunioni	500	0,29	10	1450
showroom	200	0,29	10	580
spa	250	0,29	10	725
store	400	0,29	10	1160
ufficio direzione	50	0,29	10	145
ufficio magazzino	150	0,29	10	435
zona eventi	2100	0,29	10	6090
zona living	150	0,29	10	435
zona pranzo	200	0,29	10	580

DETERMINAZIONE DELLA SUPERFICIE RADIANTE DA ATTIVARE:

I pannelli radianti sono la parte dell'impianto di climatizzazione che deve abbattere il Q_s estivo, una parte di questo è però già stato asportato come Q_a . I pannelli radianti devono quindi soddisfare solo il calore residuo Q_r :

$$Q_r = Q_s - Q_a$$

La superficie netta calpestabile dell'edificio non è però pari alla superficie attivabile per motivi ergonomici legati al tracciamento delle serpentine. Mediamente solo un 80% della superficie viene attivata.

Considerando un'efficienza del pavimento radiante pari a 45 W/m² si trova la sua potenza massima come

$$Pta \text{ max impianto radiante} = S \text{ max attiva} * \text{efficienza soffitto radiante}$$

Pta IMPIANTO TERMICO CON PAVIMENTO RADIANTE AD ACQUA IN ESTATE									
locale	Q _r [kcal/h]	Q _r [W]	S netta [m ²]	S _{attivabile} [m ²]	percentuale max S attiva[%]	S max attiva[m ²]	resa radiante [W/m ²]	S _{attiva} [m ²]	Pta max impianto radiante[W]
C. e Z. direzione	230318	198304	3473	3473	80	2778	45	4407	125028
camerino	3275	2820	81	81	80	65	45	63	2916
custode camera	2352	2025	20	20	80	16	45	45	720
custode soggiorno	7324	6306	51	51	80	41	45	140	1836
ingresso	47761	41122	227	227	80	182	45	914	8172
open corridoio	44740	38521	174	174	80	139	45	856	6264
open space	11535	9932	331	331	80	265	45	221	11916
sala relax magaz	8945	7702	62	62	80	50	45	171	2232
sala riunioni	10824	9319	66	66	80	53	45	207	2376
showroom	4615	3974	33	33	80	26	45	88	1188
spa	7590	6535	81	81	80	65	45	145	2916
store	14244	12264	643	643	80	514	45	273	23148
ufficio direzione	2510	2161	30	30	80	24	45	48	1080
ufficio magazzino	4258	3666	37	37	80	30	45	81	1332
zona eventi	36259	31219	563	563	80	450	45	694	20268
zona living	19646	16915	156	156	80	125	45	376	5616
zona pranzo	5682	4892	109	109	80	87	45	109	3924

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA D'ARIA DA MISCELARE:

Poiché questa potenza del sistema radiante non soddisfa il calore residuo Q_r , si aumenta la portata d'aria trattata per sottrarre un valore maggiore di Q_a dato dalla differenza

$$Q_a = Q_s - Pta \text{ max impianto radiante}$$

Invertendo la formula vista precedentemente del Q_a si può infine trovare la portata d'aria corretta \underline{m} da garantire per eliminare tutto il Q_s entrante in fase estiva.

La formula invertita:

$$\underline{m} = \frac{Q_a}{C_s * \Delta T_{asportato}}$$

Q_a necessario [Kcal/h]	C_s [Kcal/Kg*K]	$\Delta T_{asportato}$ [K]	m (nuova portata) [Kg/h]	q_v (nuova portata) [m ³ /h]
96036	0,29	10	33116	26493
615	0,29	10	non è necessario cambiare m	non è necessario cambiare m
1661	0,29	10	573	458
5627	0,29	10	1940	1552
38998	0,29	10	13448	10758
37757	0,29	10	13020	10416
-1139	0,29	10	non è necessario cambiare m	non è necessario cambiare m
6934	0,29	10	2391	1913
9515	0,29	10	3281	2625
3816	0,29	10	1316	1053
4929	0,29	10	1700	1360
-11471	0,29	10	non è necessario cambiare m	non è necessario cambiare m
1401	0,29	10	483	387
3146	0,29	10	1085	868
18818	0,29	10	6489	5191
13561	0,29	10	4676	3741
1706	0,29	10	588	471

Non verrà però interamente immessa dall'ambiente esterno, ma in buona parte presa dall'interno e miscelata con la componente di portata minima da garantire secondo la UNI 10339. Questo permette di ridurre gli sprechi e di non dover fornire potenze delle batterie eccessivamente elevate.

La portata recuperata dall'interno e miscelata m_r è:

$$m_r = \underline{m} - m(UNI)$$

dove:

- \underline{m} è la portata d'aria corretta

- $m(UNI)$ è la portata minima da garantire secondo l'UNI 10339 pari a 40 [m³/h per persona]

PORTATA DA MISCELARE				
loCALE	m (da UNI 10339) [Kg/h]	\underline{m} [Kg/h]	analisi	m _r (portata residua da miscelare)
C. e Z. direzione	3750	33116	inserire un miscelatore	29366
camerino	250	250	non è necessario inserire un miscelatore	0
custode camera	50	573	inserire un miscelatore	523
custode soggiorno	150	1940	inserire un miscelatore	1790
ingresso	250	13448	inserire un miscelatore	13198
open corridoio	100	13020	inserire un miscelatore	12920
open space	400	400	non è necessario inserire un miscelatore	0
sala relax magaz	200	2391	inserire un miscelatore	2191
sala riunioni	500	3281	inserire un miscelatore	2781
showroom	200	1316	inserire un miscelatore	1116
spa	250	1700	inserire un miscelatore	1450
store	400	400	non è necessario inserire un miscelatore	0
ufficio direzione	50	483	inserire un miscelatore	433
ufficio magazzino	150	1085	inserire un miscelatore	935
zona eventi	2100	6489	inserire un miscelatore	4389
zona living	150	4676	inserire un miscelatore	4526
zona pranzo	200	588	inserire un miscelatore	388

DETERMINAZIONE DELLA DIFFERENZA DI ENTALPIA ΔJ E DELLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA PER IL POST RISCALDAMENTO ΔT CON MISCELATORE:

Si fa ancora ricorso al diagramma psicrometrico:

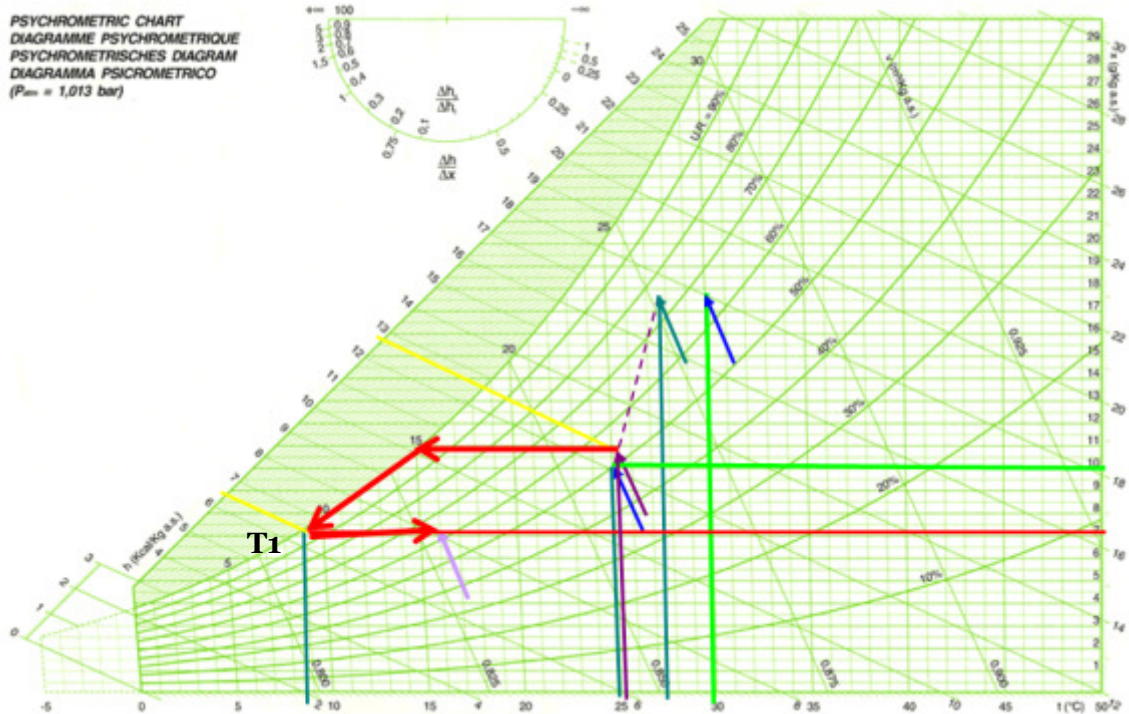


Figura 91 - Diagramma psicrometrico estivo con scambiatore e miscelatore

- Inizio e fine
- T_{inizio} e U_{fine} senza considerare scambiatore di calore e Δx
- °C
- Scambiatore di calore
- Punto di partenza dopo il miscelatore
- T_{miscela}
- - - Legge della leva
- Entalpia
- Immissione

condizioni:			
	T [°C]	U_r [%]	
inizio	30	65	
fine	25	50	
immissione	16	50	U_r relativa a T_{fine}
scambiatore di calore:			
utilizzo	η [%] rendimento (di solito 50,60%)	T_m [°C]	U_r relativa a T_{inizio}
x	60	27,09	65
miscelatore (il modello funziona solo se tra i locali è inserito anche l'edificio intero):			
utilizzo	m_r (edificio) [Kg/h]	T_{miscela} [°C]	U_r relativa a T_{miscela}
x	29366	25,37	53
	m (UNI 10339) (edificio) [Kg/h]		la si legge sul grafico colla legge della leva intersecandola con la T_{miscela}
	3750		
ΔU_{ass} (o Δx) sottratta per il soddisfare il Q_i :			
	Δx per dimensionare l'impianto generale [g/Kg]		
	2,86		
entalpia:			
	J [Kcal/Kg]		
J_{inizio}	12,7		
J_1	6,5		
ΔJ	6,2		
se per deumidificare la T va sotto 16 °C allora bisogna post riscaldare:			
	T [°C]		
T_1	9		
$T_{\text{immissione}}$	16		
ΔT post	7		

L'andamento è analogo a quello senza miscelatore, l'unica differenza riguarda il punto di partenza perchè il miscelatore incrocia il flusso d'aria entrante m con uno "di riciclo" m_r che è preso dall'ambiente interno. I flussi scambiano allora sia calore che umidità, ci si sposta quindi in diagonale sul diagramma psicrometrico seguendo la legge della leva per cui, all'aumentare della portata m_r , diminuisce la distanza del punto di partenza da quello di fine.

Si può ora trovare la temperatura del punto di partenza, dopo il passaggio del flusso m nello scambiatore di calore e nel miscelatore, $T_{miscela}$ come:

$$T_{miscela} = \frac{[m(UNI) * T_m] + [m_r * T_{fine}]}{m(UNI) + m_r}$$

Intersecando la retta verticale passante per $T_{miscela}$ con la congiungente del punto di fine e di quello relativo al passaggio per lo scambiatore, si trova punto di partenza per il trattamento dell'aria.

DETERMINAZIONE DELLA POTENZA DELLA BATTERIA DI RAFFREDDAMENTO DELLA UTA:

Si calcola la potenza delle batteria per il trattamento dell'aria in estate $Pta raf$ [kcal/h]:

$$Pta raf = \underline{m} * \underline{\Delta J}$$

con:

- \underline{m} [kg/h] è la portata d'aria corretta
- $\underline{\Delta J}$ [kcal/kg] è la differenza di entalpia considerando, nel ciclo di trattamento dell'aria, il passaggio per il miscelatore

POTENZA DELLA BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO			
locale	\underline{m} [Kg/h]	$\underline{\Delta J}$ [Kcal/Kg]	Pta raf [Kcal/h]
C. e Z. direzione	33116	6,2	205318

DETERMINAZIONE DELLA POTENZA DELLA BATTERIA DI POST-RISCALDAMENTO DELLA UTA:

Poichè nel trattamento di raffreddamento e deumidificazione l'aria scende ad una temperatura inferiore a quella di immissione, è necessario post-riscaldare per non immettere in ambiente un flusso troppo freddo. La potenza delle batteria per il post-riscaldamento estivo $Pta post$ [kcal/h] è data da:

$$Pta post = \underline{m} * C_s * \Delta T_{post}$$

con:

- \underline{m} [kg/h] è la portata d'aria corretta
- C_s [kcal/kgK] calore specifico aria pari a 0,29 kcal/kgK
- ΔT_{post} [K] differenza tra la temperatura di immissione 16°C e la temperatura dell'aria dopo il trattamento di refrigerazione e deumidificazione che si può leggere sul diagramma psicrometrico

POTENZA DELLE BATTERIE PER POST RISCALDARE L'ARIA IN ESTATE				
locale	\underline{m} [Kg/h]	C_s (calore specifico)[Kcal/Kg*K]	ΔT_{post} [K]	Pta post [Kcal/h]
C. e Z. direzione	33116	0,29	7	67225

FASE INVERNALE - DETERMINAZIONE DELLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA PER IL PRE E IL POST-RISCALDAMENTO:

Ci si serve del diagramma psicrometrico:

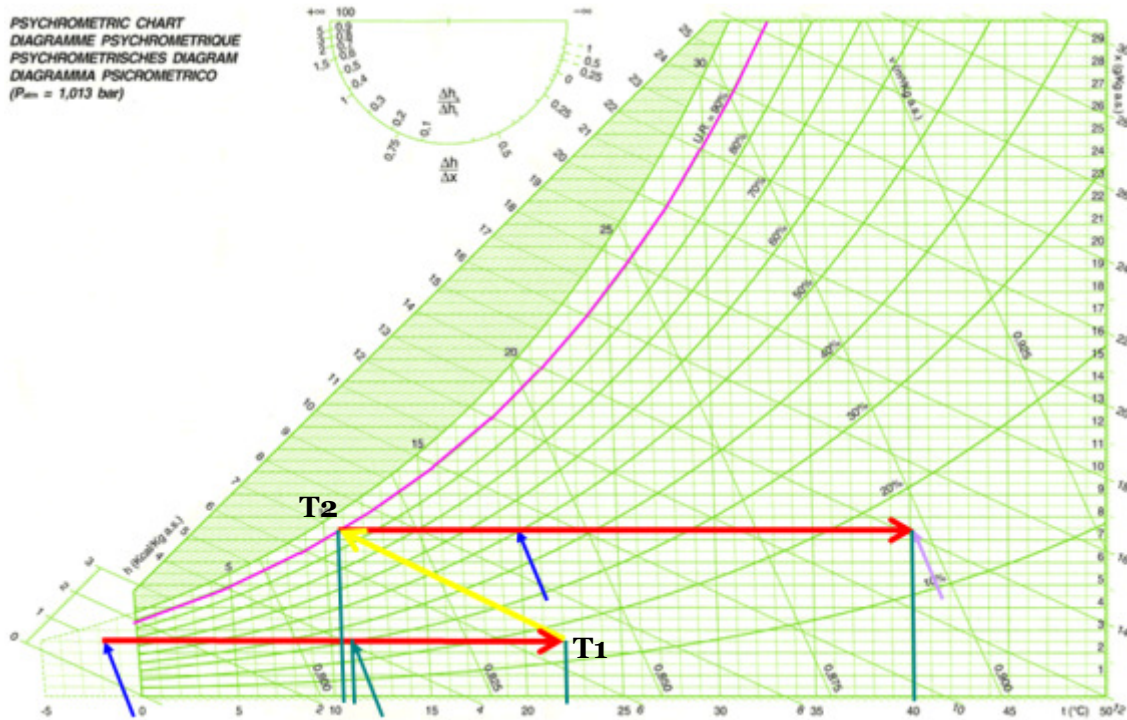


Figura 92 - Diagramma psicrometrico invernale con scambiatore di calore

- Inizio e fine
- °C
- Scambiatore di calore
- Entalpia
- Immissione
- η [%] rendimento umidificatore, 90%

condizioni:			
	T[°C]	U _r [%]	
inizio	-2	83	
fine	20	50	
immissione	35	50	U _r relativa a T _{fine}
scambiatore di calore:			
utilizzo	η [%] rendimento (di solito 50,60%)	T _m [°C]	U _r relativa a T _{inizio}
x	60	11,2	83
batteria di preriscaldamento:			
	T[°C]		
T _{inizio} o T _m	11,2		
T1	22		
ΔT pre	10,8		
batteria di postriscaldamento:			
	T[°C]		
T2	11		
T _{immissione}	35		
ΔT post	24		
calore importato che aiuterà a ridurre il Ft da soddisfare con l'impianto termico			
	T[°C]		
T _{immissione}	35		
T _{fine}	20		
ΔT _{importato}	15		

In fase invernale avvengono tre trattamenti distinti: il preriscaldamento; l'umidificazione; il post riscaldamento.

Come in fase estiva il punto di inizio è preso dai dati climatici della zona per il mese più rigido (gennaio con temperatura esterna di -2°C e umidità relativa del 83%) e il punto di fine è dato (temperatura interna di 20°C con umidità relativa del 50%); l'immissione avviene poi ad una temperatura superiore (35°C) ma con la stessa umidità del punto di fine.

Anche in fase invernale consideriamo lo scambiatore di calore che fa spostare orizzontalmente sul diagramma psicrometrico il punto di partenza, la differenza di temperatura per il preriscaldamento si riduce quindi notevolmente.

Operando sul diagramma psicrometrico si tracciano le rette orizzontali passanti per il punto di partenza e quello di immissione; quest'ultima interseca poi, nel punto T2, la curva di umidità relativa del 90%, rendimento dell'umidificatore considerato; si traccia quindi la insoentalpica a partire da T2 fino ad incontrare la prima retta orizzontale nel punto T1.

La differenza di temperatura ΔT pre per il pre-riscaldamento è data da:

$$\Delta T_{pre} = T1 - T_m$$

con T_m temperatura media dopo il passaggio nello scambiatore.

La differenza di temperatura ΔT post per il post-riscaldamento è data invece da:

$$\Delta T_{post} = T_{immissione} - T2$$

Vi è infine il ΔT_{importato} che è il calore immesso nell'ambiente per introduzione di un flusso d'aria a temperatura maggiore rispetto a quella finale desiderata.

$$\Delta T_{importato} = T_{immissione} - T_{fine}$$

Il procedimento ora è analogo a quello in fase estiva con la unica differenza che invece del calore asportato Q_a si considera il calore importato Q_{im} e per qualche coefficiente.

DETERMINAZIONE DEL CALORE IMPORTATO Q_{im} E DELLA POTENZA DELL'IMPIANTO RADIANTE IN FASE INVERNALE:

La formula applicata è la seguente:

$$Q_{im} = m * C_s * \Delta T_{importato}$$

con:

- m [kg/h] portata massica
- C_s [kcal/kgK] calore specifico aria pari a 0,29 kcal/kgK

CALORE IMPORTATO (Q_{im}) CON L'IMMISSIONE DI ARIA A T PIU' ALTA RISPETTO A QUELLA DESIDERATA				
locale	m (portata massica)[Kg/h]	C_s (calore specifico) [Kcal/Kg*K]	$\Delta T_{importato}$ (tra $T_{immissione}$ e $T_{interna}$)[K]	Q_{im} [Kcal/h]
C. e Z. direzione	3750	0,29	15	16313

Nella determinazione della superficie radiante necessaria in fase invernale si considera il calore residuo Q_r come:

$$Q_r = Q_s - Q_{im}$$

e l'efficienza del soffitto radiante pari a 75 W/m².

Poichè la superficie attiva S_{attiva} è inferiore al massimo $S_{max\ attiva}$, allora non è necessario aumentare la portata d'aria immessa ed utilizzare il miscelatore. Si può quindi trovare immediatamente la potenza dell'impianto radiante che è evidentemente uguale a Q_r :

$$Pta\ impianto\ radiante = Q_r$$

SUPERFICIE ATTIVA E Pta IMPIANTO RADIANTE A PAVIMENTO IN INVERNO						
locale	Q_r (calore residuo da smaltire con l'impianto termico)[Kcal/h]	Q_r [W]	S_{netta} [m ²]	$S_{attivabile}$ [m ²]	percentuale max S_{attiva} [%]	$S_{max\ attiva}$ [m ²]
C. e Z. direzione	32057	27601	3473	3473	80	2778

resa radiante [W/m ²]	S_{attiva} [m ²]	percentuale S_{attiva} [%]	analisi	Pta impianto radiante[Kcal/h]	Pta impianto radiante[W]
75,8	364	10	Pta impianto termico = Q_r	32057	27601

DETERMINAZIONE DELLA POTENZA DELLA BATTERIA DI PRE E POST-RISCALDAMENTO INVERNALE:

Calcolo della potenza delle batterie per pre-riscaldamento Pta_{pre} [kcal/h]:

$$Pta_{pre} = \underline{m} * C_s * \Delta T_{pre}$$

con:

- \underline{m} [kg/h] è la portata d'aria corretta che in questo caso, non essendo necessario aumentarla per insufficienza del sistema radiante è:

$$\underline{m} = m(UNI\ 10339)$$

POTENZA DELLE BATTERIE PER PRERISCALDARE L'ARIA IN INVERNO				
locale	\underline{m} [Kg/h]	C_s (calore specifico)[Kcal/Kg*K]	ΔT pre [Kcal/Kg]	Pta pre [Kcal/h]
C. e Z. direzione	3750	0,29	10,8	11745

Calcolo della **potenza** delle batterie per post-riscaldamento $Pta\ post$ [kcal/h]:

$$Pta\ post = \underline{m} * C_s * \Delta T_{post}$$

con:

$$\underline{m} = m(UNI\ 10339)$$

POTENZA DELLE BATTERIE PER POSTRISCALDARE IN INVERNO				
locale	\underline{m} [Kg/h]	C_s (calore specifico)[Kcal/Kg*K]	ΔT post[Kcal/Kg]	Pta post [Kcal/h]
C. e Z. direzione	3750	0,29	24	26100

SCELTA DELLE MACCHINE DI CLIMATIZZAZIONE

Si riassume in una tabella tutti i valori necessari per il dimensionamento degli impianti di alcuni dei quali si ricorda il significato:

Portata d'aria in entrata/uscita q_v [m³/h] è la portata definita dall'UNI 10339, quindi pari a:

$$q_v = m(UNI) * volume\ specifico\ aria$$

dove il volume specifico dell'aria è pari a 0,8 [m³/kg].

Portata d'aria massima q_v [m³/h] è il massimo flusso che può passare per l'UTA e può essere quindi maggiore della portata definita dall'UNI 10339 perchè, come si è visto in precedenza, deve aiutare a soddisfare le esigenze climatiche oltre che garantire un buon ricambio d'aria.

Pta frigorifera [kW] è la potenza che deve essere soddisfatta dalla pompa di calore in fase estiva per poter immettere i corretti flussi freddi nell'UTA e nel sistema radiante:

$$Pta\ frigorifera = Pta\ impianto\ radiante\ estivo + Pta\ raf.\ e\ deu\ UTA$$

TABELLA RIASSUNTIVA PER IL DIMENSIONAMENTO DEI MACCHINARI				
ESTATE				
locale	q_v [m ³ /h]	Pta impianto radiante[W]	Pta raf. e deu. UTA[W]	Pta post UTA[W]
C. e Z. direzione	26493	124981	176779	57881

INVERNO				
q_v [m ³ /h]	Pta impianto radiante[W]	Pta pre UTA[W]	Pta post UTA[W]	Portata d'aria in entrata/uscita m [kg/h]
3000	27601	10112	22472	3750

VALORI PER UTA		[l/s]
Portata d'aria massima q_v [m ³ /h]	26493	7359
Portata d'aria in entrata/uscita q_v [m ³ /h]	3000	
Pta pre-riscaldamento inverno[kW]	10	
Pta post-riscaldamento estate[kW]	58	
Pta post-riscaldamento inverno[kW]	22	
Pta post-riscaldamento considerata[kW]	58	
Pta raf. e deu. UTA [kW]	177	

VALORI PER POMPA DI CALORE	
Pta impianto radiante [KW]	125
Pta raf. e deu. UTA [kW]	177
Pta frigorifera [kW]	302
Pta impianto radiante [kW]	28
Pta pre UTA [kW]	10
Pta post UTA[W]	22
Pta termica inverno [kW]	60

VALORI PER CALDAIA PER POST-RISCALDAMENTO ESTIVO	
Pta post estate[kW]	58

SUPERFICIE DA ATTIVARE CON IL SISTEMA RADIANTE A PAVIMENTO	
S attiva max [m ²]	2778

Si riportano inoltre le portate d'aria massime da garantire nei diversi locali:

locale	q_v [m ³ /h]
camerino	200
custode camera	458
custode soggiorno	1552
ingresso	10758
open corridoio	10416
open space	320
sala relax magaz	1913
sala riunioni	2625
showroom	1053
spa	1360
store	320
ufficio direzione	387
ufficio magazzino	868
zona eventi	5191
zona living	3741
zona pranzo	471

Le macchine di climatizzazione sono prodotti della Clivet di cui si riporta uno stralcio delle schede tecniche.

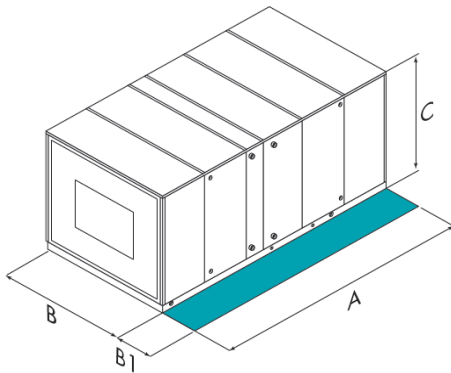
UTA:

Unità di climatizzazione Clivet Hydronic AQ 14-803 - grandezza 270

Grandezze		218	244	270	286	315	366	429
▶ Potenzialità frigorifera	(1) kW	229	255	283	300	330	384	449
Potenza assorbita totale	kW				(*)			
▶ Potenzialità termica	(2) kW	412	460	510	540	596	699	810
Portata aria	(3) l/s	6064	6764	7504	7944	8760	10174	11909
Livello di pressione sonora	dB(A)				(*)			
Alimentazione elettrica	V/Ph/Hz				400/3/50			

Dimensioni

dimensioni e spazi funzionali



Grandezze		136	154	175	194	218	244	270	286	315	366
Lunghezza (A)	mm							(*)			
Profondità (B)	mm	1570	1570	1740	1740	1910	1910	2080	2080	2250	2420
Altezza (C)	mm	1550	1720	1720	1890	1890	2080	2080	2230	2230	2400
Spazio di servizio (B1)											
▶ per ispezione	mm	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
smontaggio batterie	mm	1570	1570	1740	1740	1910	1910	2080	2080	2250	2420
Peso in funz.	kg							(**)			

Figura 93 - Scheda tecnica UTA

POMPA DI CALORE:

ELFOEnergy Ground Medium WSHN-XEE 82-802

Pompa di calore acqua-acqua per installazione interna

DF11M002I-00



ELEVATA EFFICIENZA STAGIONALE

L'abbinamento di compressori di taglie diverse consente di ottenere più gradini di regolazione, per fornire solo l'energia effettivamente richiesta dall'impianto, ridurre i consumi e ottenere un'elevata efficienza stagionale. L'unità raggiunge la Classe A Eurovent in riscaldamento e in raffreddamento per l'impiego con pannelli radianti.

VERSIONE ACQUA DI FALDA O GEOTERMICA

L'utilizzo di scambiatori specifici per applicazioni con acqua di falda o geotermia ad anello chiuso permette di massimizzare l'efficienza energetica.

RECUPERO ENERGETICO

Il recupero parziale o totale soddisfa la richiesta dei carichi termici e la produzione di acqua calda sanitaria in funzione della tipologia impiantistica.

CENTRALE PREASSEMBLATA

Tutti i principali componenti dell'impianto sono forniti a bordo unità, garantendo la massima affidabilità e semplicità di installazione.

MODULARITA' E GESTIONE PIU' UNITA' IN CASCATA

La costruzione compatta con attacchi idrici verso l'alto permette di affiancare più unità in spazi ridotti, realizzando una centrale di elevata potenza. Il controllo consente di coordinare fino a 6 unità gestendo automaticamente il funzionamento con la massima efficienza.



Dati tecnici - Versione per Acqua di falda

Grandezze		82	102	122	162	182	222	262	302	352	402	432	452	502	552	602	702	802	
<small>Refrig. R-410A Inst. interna ELFOCONTROL</small>																			
Applicazioni con Pannelli Radianti																			
▶	Potenzialità termica (1)	kW	34,8	42,0	47,8	55,7	66,1	79,0	93,4	106	121	139	153	164	178	196	221	250	280
	COP (EUROVENT) (2)	-	5,86	6,00	5,79	5,74	5,79	5,78	5,79	5,73	5,78	5,75	5,77	5,73	5,77	5,73	5,63	5,55	5,55
	COP (EN 14511:2008) (3)	-	5,67	5,74	5,52	5,46	5,44	5,58	5,58	5,57	5,50	5,53	5,51	5,53	5,48	5,50	5,42	5,32	5,20
▶	Potenzialità frigorifera (4)	kW	40,5	47,3	58,6	64,9	77,4	92,7	109	124	141	162	180	192	209	230	257	291	321
	EER (EUROVENT) (5)	-	6,47	6,26	6,25	5,77	6,04	5,95	6,15	6,05	5,91	5,99	5,84	5,98	5,83	5,89	5,84	5,91	5,96
	EER (EN 14511:2008) (6)	-	5,93	5,70	5,53	5,10	5,32	5,38	5,62	5,48	5,30	5,35	5,23	5,34	5,17	5,20	5,11	5,13	5,10
Applicazioni con unità terminali																			
▶	Potenzialità termica (7)	kW	33,0	39,7	46,4	53,4	63,2	75,1	88,6	101	114	131	145	155	168	185	209	236	266
	COP (EUROVENT) (2)	-	4,30	4,37	4,34	4,35	4,36	4,38	4,38	4,41	4,38	4,42	4,41	4,40	4,38	4,41	4,36	4,35	4,40
▶	Potenzialità frigorifera (8)	kW	29,0	33,8	42,0	46,9	55,4	66,8	78,1	89,4	101	116	129	137	149	164	184	207	229
	EER (EUROVENT) (5)	-	4,70	4,71	4,77	4,44	4,55	4,50	4,58	4,53	4,48	4,55	4,48	4,53	4,47	4,52	4,47	4,40	4,35

GRANDEZZE		82	102	122	162	182	222	262	302	352	402	432	452	502	552	602	702	802
Lunghezza	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966
Altezza (1)	mm	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1570	1570	1570	1570	1570	1570	1570	1570	1570
Altezza (2)	mm	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125
Profondità	mm	656	656	656	656	656	656	656	656	948	948	948	948	948	948	948	948	948
Peso (1)	kG	407	425	453	504	517	531	545	611	1011	1042	1169	1179	1193	1228	1258	1306	1333

Figura 94 - Scheda tecnica pompa di calore

Per il dimensionamento dell'impianto nella zona produzione il procedimento seguito è lo stesso. I calcoli eseguiti sono riportati nell'allegato relativo.

4.2.5. DIMENSIONAMENTO DELLE CONDOTTE DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA

Come abbiamo detto precedentemente, per poter dimensionare le condotte di distribuzione dell'aria è necessario conoscere le portate da fornire in tutti i locali dell'edificio. Illustriamo ora il dimensionamento delle condotte di mandata nella zona produzione che è formata da un unico grande ambiente.

Si riporta di seguito lo schema adottato in cui in verde sono riportate le condotte di mandata ed in rosso quelle di ripresa.

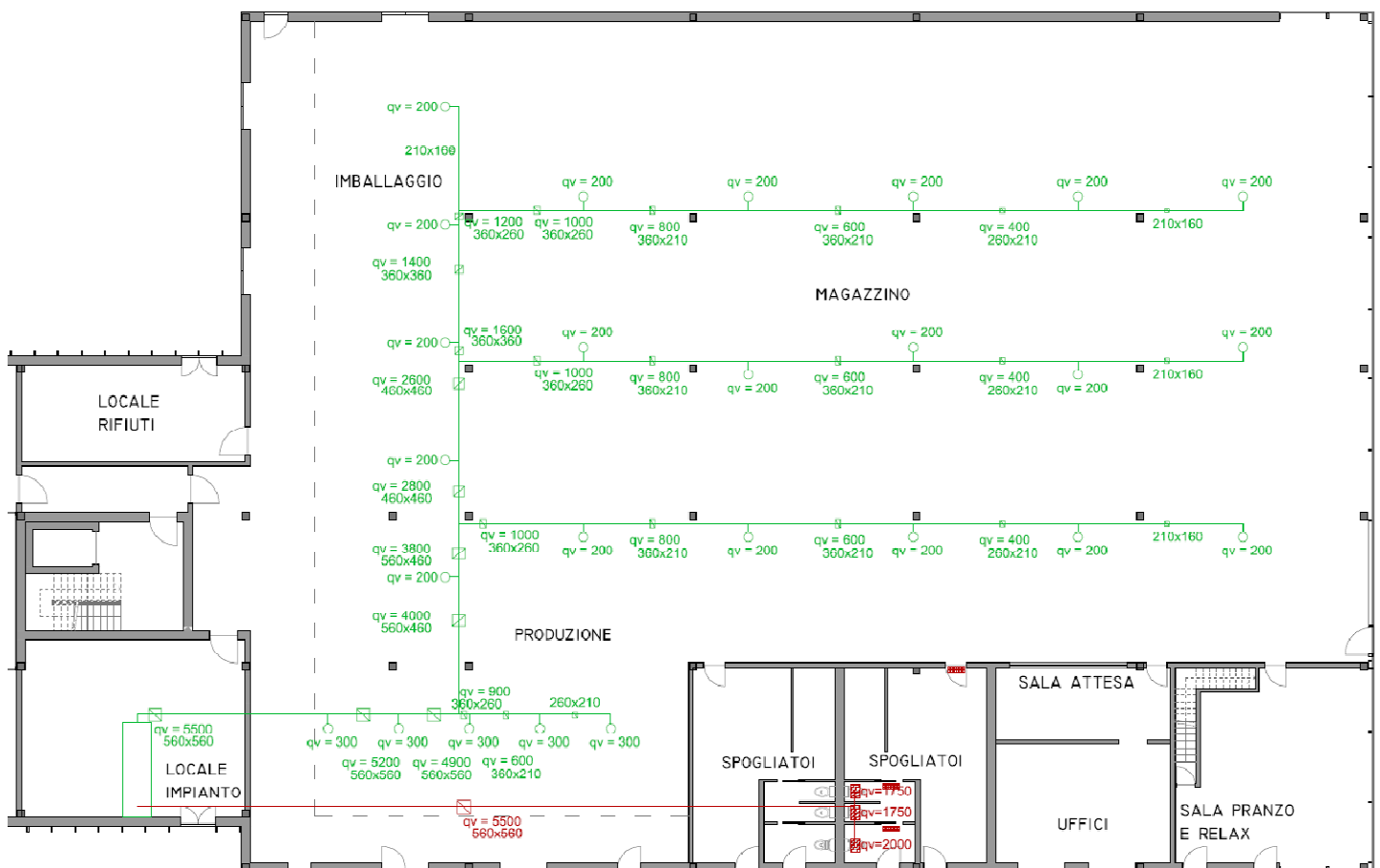


Figura 95 - Canali di mandata e ripresa zona produzione

Con le condotte di mandata si cerca di distribuire in maniera uniforme l'aria trattata in tutto l'ambiente, ponendo particolare attenzione all'area di produzione vera e propria in cui ci sarà una maggiore presenza di persone: i diffusori sono molto ravvicinati rispetto al resto del locale e diffondono ognuno una portata di 300 m³/h. Altri diffusori più radi sono invece disposti lungo i corridoi del magazzino e sono caratterizzati da una portata di 200 m³/h.

La ripresa viene invece fatta dai bagni, in questo modo si genera una depressione d'aria che aspira anche eventuali odori. Al di sotto delle porte sono quindi previste delle griglie per l'infiltrazione dell'aria.

Di seguito lo schema ingrandito delle condotte di mandata:

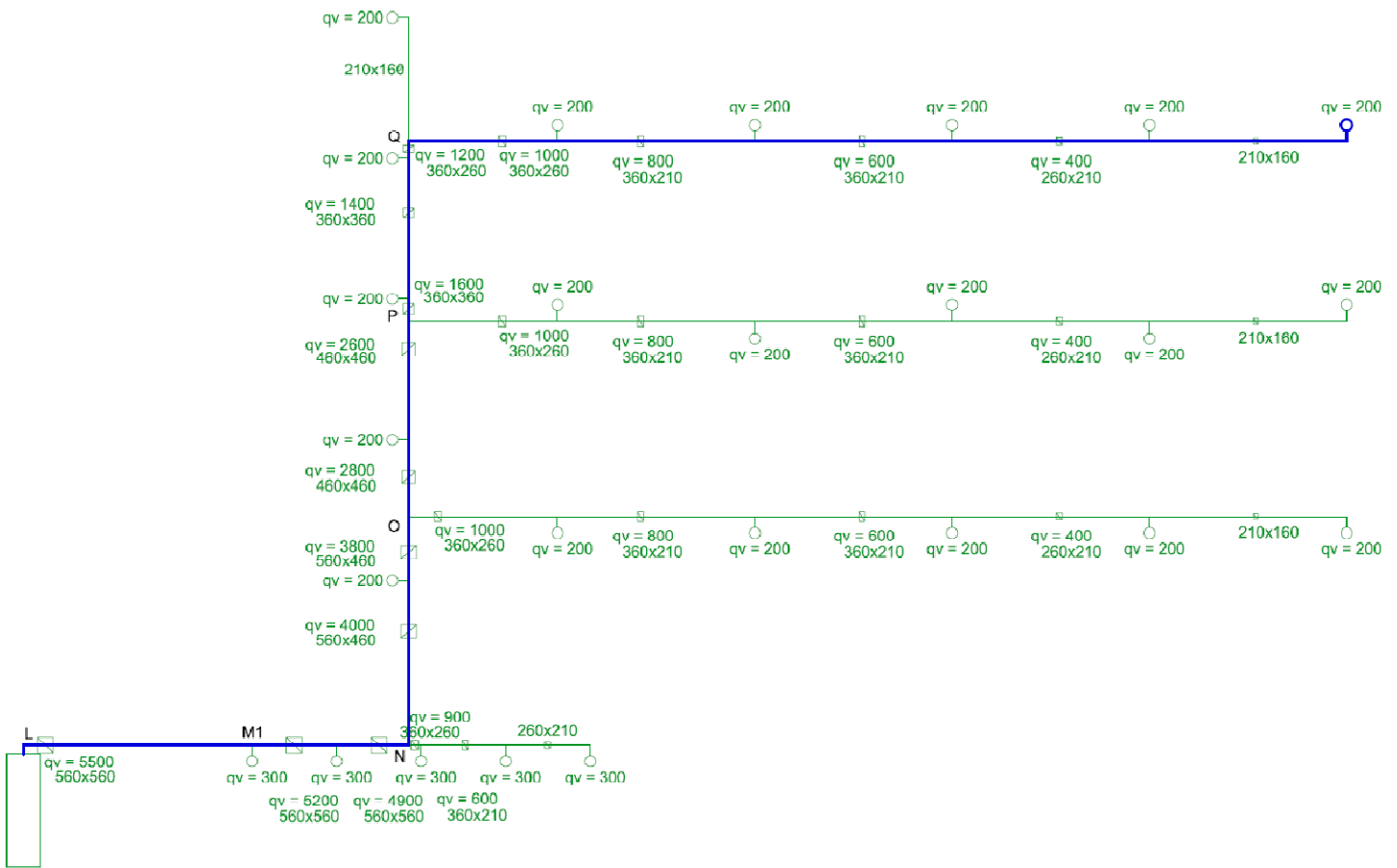


Figura 96 - Disposizione dei canali di mandata

DIMENSIONAMENTO DELLA CONDOTTA INIZIALE

Per condotta iniziale si intende quella che parte dalla UTA ed arriva fino alla prima ramificazione, ovvero il tratto L-M1.

Per il dimensionamento viene utilizzato un diagramma che mette in relazione la portata d'aria q_v (linee orizzontali nella parte destra) e la velocità dell'aria V (linee oblique che corrono da in basso a sinistra ad in alto a destra) oppure la resistenza ϵ (linee verticali nella parte di destra) calcolata in mm di colonna d'acqua al metro lineare di condotto [mm c.a./m]. Conoscendo la portata d'aria passante dal condotto e la velocità dell'aria desiderata si può quindi trovare il diametro circolare del condotto \varnothing (linee oblique che corrono da in basso a destra ad in alto a sinistra) oppure la lunghezza dei lati della sezione rettangolare equivalente (linee oblique nella parte di sinistra).

Una velocità troppo elevata dell'aria nel condotto porterebbe un rumore eccessivo. A seconda degli ambienti in cui corrono le condotte ci sono diverse velocità dell'aria consigliate che vengono riassunte nella tabella successiva:

VELOCITÀ DELL'ARIA (CONSIGLIATE E MASSIME)			
Elemento	Velocità consigliate m/s		
	Edifici residenziali	Edifici pubblici scuole-teatri	Edifici industriali
Condotte principali	3,5 + 4,5	5 + 6,5	6 + 9
Condotte secondarie	2,5 + 3	3 + 4,5	4 + 5
Filtri	1,25	1,5	1,75
Batterie	2,25	2,5	3
Elemento	Velocità massime m/s		
Condotte principali	4 + 6	5,5 + 8	6,5 + 11
Condotte secondarie	3,5 + 5	4 + 6,5	5 + 9
Filtri	1,5	1,75	1,75
Batterie	2,5	3	3,5

Figura 97 - Velocità dell'aria

Il diagramma sopra descritto è il seguente. Si evidenzia il procedimento per il dimensionamento della condotta principale:

- Si individua la portata passante per il condotto e ci si sposta orizzontalmente fino ad intersecare la linea (nera) corrispondente alla velocità di 6 m/s, velocità consigliata per le condotte principali in edifici industriali.
- Ci si sposta in obliquo lungo le linee isodiametrali fino al bordo della parte sinistra del grafico.
- Si individua nella parte sinistra del grafico una sezione, corrispondente all'intersezione delle linee oblique.
- Dall'intersezione ci si muove indietro lungo le linee curve fino ad intersecare il bordo della parte destra del grafico
- Quindi, spostandosi ancora lungo le isodiametrali, si re-interseca nuovamente la linea orizzontale relativa alla portata e si legge il nuovo valore della velocità dell'aria e la resistenza opposta a metro lineare di condotta.

Come si vede dal diagramma, in questo caso, si ha una portata di 5500 m³/h. Dopo alcuni passaggi si nota come la isodiametrale incontra l'intersezione delle linee dei lati 500 e 500 sul confine tra parte destra e sinistra del diagramma. Si adotta quindi una sezione 500x500 e si vede come spostandosi nuovamente lungo la isodiametrale si ritrovi proprio la velocità dell'aria di 6 m/s e una resistenza pari a 0,07 mm c.a./m.

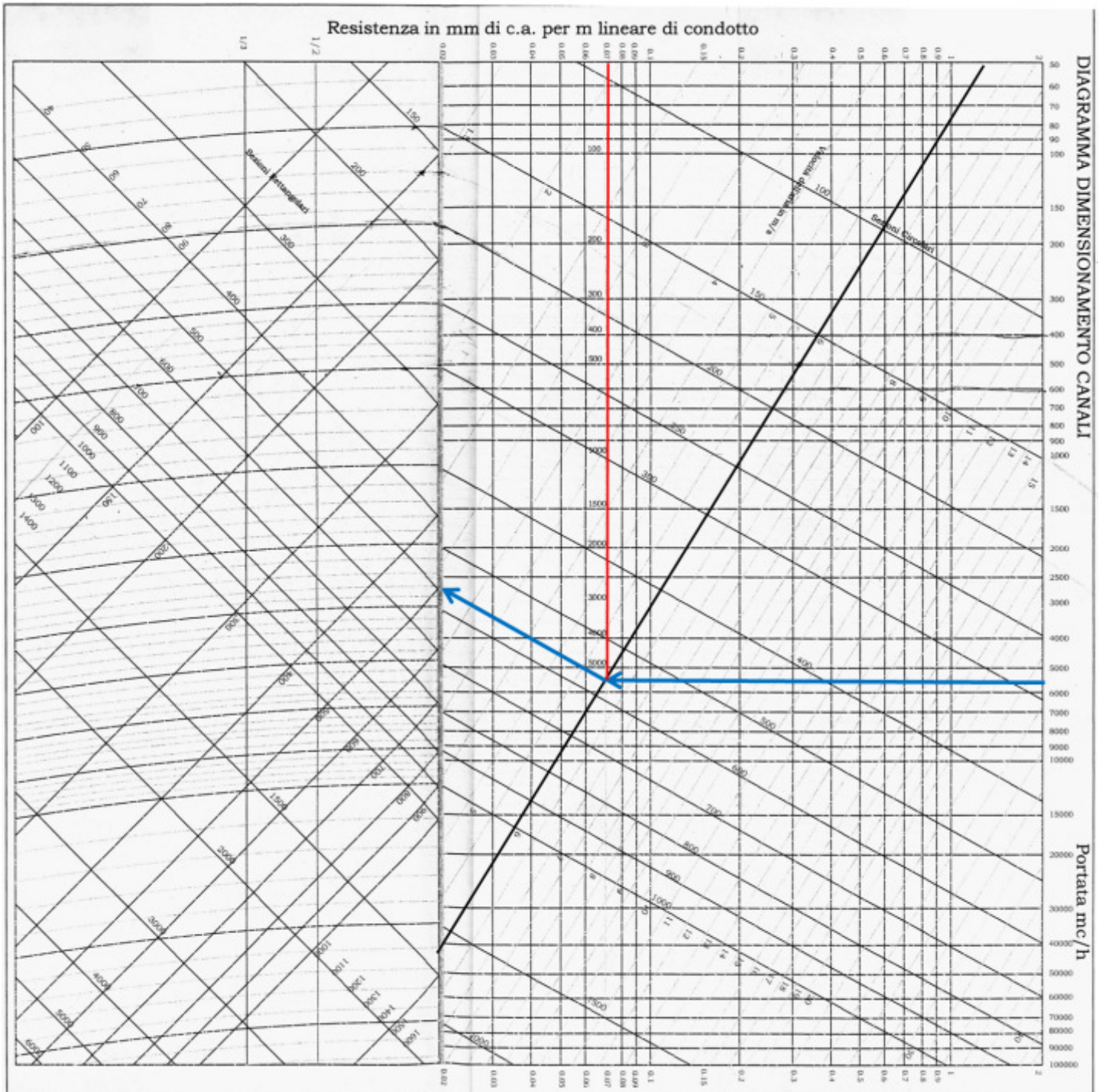


Figura 98 - Predimensionamento dei canali dell'aria

DIMENSIONAMENTO DEL CANALE PIU' LUNGO

Per canale più lungo si intende quello che parte dalla UTA e percorre una maggior lunghezza prima di terminare con un diffusore. In questo caso il canale più lungo è evidenziato in blu nello schema sopra-riportato. Dimensionare il canale più lungo, e quindi quello per cui l'aria trova una maggiore resistenza prima di essere immessa

nell'ambiente, permette di individuare la prevalenza necessaria che deve avere il ventilatore di mandata.

Il procedimento per la scelta della sezione delle condotte è analogo a quello illustrato per quella iniziale. L'unica differenza si trova nella scelta delle velocità dell'aria, si cerca infatti di rispettare i limiti consigliati che in questo caso sono tra 4 e 5 m/s per le condotte secondarie in edifici industriali.

Di seguito la tabella con le dimensioni sezionali del canale. Come si può vedere dallo schema della condotta le dimensioni sono state aumentate con una coibentazione, importante soprattutto nella zona direzione perché isola acusticamente le condotte.

DIMENSIONAMENTO RAMIFICAZIONE PIU' LUNGA						
tratto	qv [mc/h]	dimensione condotta			ε [mm c.a./m]	V[m/s]
		b [mm]	x	h [mm]		
Tratto iniziale L-M1	5500	500	x	500	0,07	6
M1-M2	5200	500	x	500	0,065	5,8
M2-N	4900	500	x	500	0,055	5,3
N-N1	4000	500	x	400	0,06	5,3
N1-O	3800	500	x	400	0,058	5
O-N2	2800	400	x	400	0,062	5
N2-P	2600	400	x	400	0,052	4,7
P-N3	1600	300	x	300	0,09	5
N3-N4	1400	300	x	300	0,07	4,5
N4-Q	1200	300	x	200	0,11	5,1
Q-Q1	1000	300	x	200	0,095	4,5
Q1-Q2	800	300	x	150	0,14	5
Q2-Q3	600	300	x	150	0,1	4,2
Q3-Q4	400	200	x	150	0,14	4,3
Q4-Q5	200	150	x	100	0,17	4

Dalla tabella si vedono le resistenze delle condotte che comportano alcune perdite lineari pl definite come

$$pl = \varepsilon L$$

dove L è la lunghezza della condotta.

Si sommano a queste le perdite concentrate pc date da

$$pc = C\gamma \frac{V^2}{g} = C \frac{V^2}{16}$$

dove:

- C è un valore costante tabulato. Si considera a 0,5 mm c.a. per angoli di 90°; 0,2 mm c.a. per biforcazioni nella condotta.
- γ è il peso specifico dell'aria
- V è la velocità dell'aria nella condotta
- g è l'accelerazione di gravità

Si calcola quindi la prevalenza del ventilatore Δp tot come la somma di tutte le perdite antecedenti a cui si aggiunge un'ultima perdita data del diffusore pari a 1,5 mm c.a.:

$$\Delta p_{tot} = \sum pl + \sum pc + 1,5$$

PERDITE DI CARICO (Δp) RAMIFICAZIONE PIU' LUNGA E PREVALENZA VENTILATORE						
tratto	perdite lineari pl [mm c.a.]			perdite concentrate pc [mm c.a.]		
	L tratto [m]	ϵ [mm c.a./m]	pl [mm c.a.]	C (da tabella)	V [m/s]	pc [mm c.a.]
Tratto iniziale L-M1	8	0,07	0,56	0,5	6	1,13
M1-M2	3	0,065	0,20	0,2	5,8	0,42
M2-N	2,25	0,055	0,12	0,7	5,3	1,23
N-N1	5,8	0,06	0,35	0,2	5,3	0,35
N1-O	2	0,058	0,12	0,2	5	0,31
O-N2	3	0,062	0,19	0,2	5	0,31
N2-P	4,3	0,052	0,22	0,2	4,7	0,28
P-N3	0,6	0,09	0,05	0,2	5	0,31
N3-N4	5	0,07	0,35	0,2	4,5	0,25
N4-Q	0,8	0,11	0,09	0,2	5,1	0,33
Q-Q1	5,6	0,095	0,53	0,7	4,5	0,89
Q1-Q2	7	0,14	0,98	0,2	5	0,31
Q2-Q3	7	0,1	0,70	0,2	4,2	0,22
Q3-Q4	7	0,14	0,98	0,2	4,3	0,23
Q4-Q5	7	0,17	1,19		4	0,00

PREVALENZA VENTILATORE [mm c.a.]	
Δp tot [mm c.a.]	15

DIMENSIONAMENTO DELLE RESTANTI RAMIFICAZIONI

Il dimensionamento sezionale dei canali nelle altre ramificazioni è analogo a quello illustrato. Si riporta di seguito la tabella che ne riassume la geometria.

DIMENSIONAMENTO ALTRE RAMIFICAZIONI						
tratto	qv [mc/h]	dimensione condotta			ϵ [mm c.a./m]	V [m/s]
		b [mm]	x	h [mm]		
Q-N5	200	150	x	100	0,17	4
P-P1	1000	300	x	200	0,095	4,5
P1-P2	800	300	x	150	0,14	5
P2-P3	600	300	x	150	0,1	4,2
P3-P4	400	200	x	150	0,14	4,3
P4-P5	200	150	x	100	0,17	4
O-O1	1000	300	x	200	0,095	4,5
O1-O2	800	300	x	150	0,14	5
O2-O3	600	300	x	150	0,1	4,2
O3-O4	400	200	x	150	0,14	4,3
O4-O5	200	150	x	100	0,17	4
N-M3	900	300	x	200	0,07	4
M3-M4	600	300	x	150	0,1	4,2
M4-M5	300	200	x	150	0,15	4

Per avere una omogenea distribuzione dell'aria, in corrispondenza dei diffusori di questi ultimi canali, è necessario avere delle perdite pari a quelle presenti al diffusore del canale più lungo (Δp tot). In caso contrario l'aria tenderebbe a indirizzarsi laddove trova meno resistenza, le portate diffuse non sarebbero quindi quelle previste.

Si prevedono quindi delle valvole chiamate serrande di taratura che riequilibrano tutto il sistema.

Le perdite imposte dalle valvole Δp valvola sono quindi

$$\Delta p_{valvola} = \Delta p_{tot} - \Delta p_i$$

dove Δp_i sono le perdite corrispondenti alla ramificazione senza l'aggiunta della serranda.

PERDITE DI CARICO (Δp) AL TRE RAMIFICAZIONI E SERRANDE DI TARATURA					
tratto	p_l [mm c.a.]	p_c [mm c.a.]	Δp_i [mm c.a.]	Δp_{tot} [mm c.a.]	$\Delta p_{valvola}$ [mm c.a.]
Q-N5	0,71	0,20	9,8	14,7	4,9
P-P1	0,53	0,89	9,4	14,7	5,3
P1-P2	0,98	0,31	9,5	14,7	5,2
P2-P3	0,70	0,22	9,3	14,7	5,4
P3-P4	0,98	0,23	9,8	14,7	4,9
P4-P5	1,19	0,20	10,2	14,7	4,5
O-O1	0,53	0,89	8,4	14,7	6,3
O1-O2	0,98	0,31	8,5	14,7	6,2
O2-O3	0,70	0,22	8,3	14,7	6,4
O3-O4	0,98	0,23	8,8	14,7	5,9
O4-O5	1,19	0,20	9,2	14,7	5,5
N-M3	0,05	0,20	5,6	14,7	9,1
M3-M4	0,30	0,22	6,1	14,7	8,6
M4-M5	0,45	0,20	6,4	14,7	8,3

4.3. IL DIMENSIONAMENTO DELLE APERTURE IN FACCIATA: ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA

Nello sviluppo del progetto è stata posta molta attenzione alla componente energetica ed economica legata alla scelta delle tecnologie e delle strategie progettuali.

In questa sezione analizziamo l'impatto energetico ed economico delle superfici vetrate al variare della loro dimensione ed orientamento.

Grandi vetrate generano grandi carichi termici in fase estiva e grandi dispersioni in fase invernale. Questo incide non solo sul bilancio energetico, ma anche sulla scelta delle macchine di climatizzazione: alti i picchi del fabbisogno frigorifero e termico condizionano la scelta con apparecchi più potenti e quindi più costosi.

Per poter confrontare questi due fattori è necessario trovare un parametro comune: in questo modello abbiamo adottato la variabile economica, quindi il prezzo in euro al tempo zero per il dimensionamento dell'impianto di climatizzazione e i costi annuali necessari per il funzionamento dello stesso.

Vi è inoltre un altro fattore condizionato dalla dimensione della superficie finestrata: l'illuminazione naturale. Grandi vetrate permettono infatti di avere per un lungo periodo della giornata un buon livello di illuminamento senza la necessità di illuminazione artificiale. Questo permette di risparmiare dal punto di vista energetico e quindi economico.

Incrociando questi parametri si può trovare la superficie ideale trasparente da assegnare alle pareti nelle diverse direzioni dell'edificio.

Il procedimento è il seguente:

ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE FACCIATE VETRATE

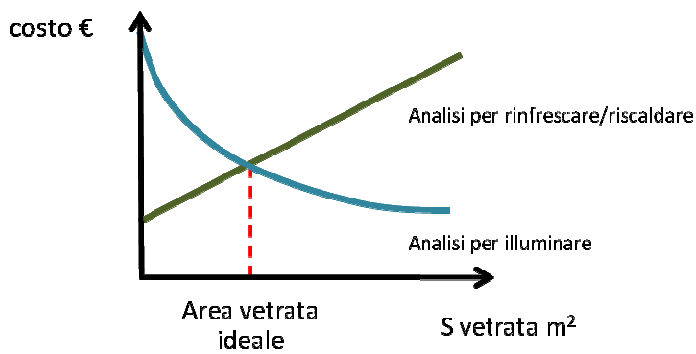
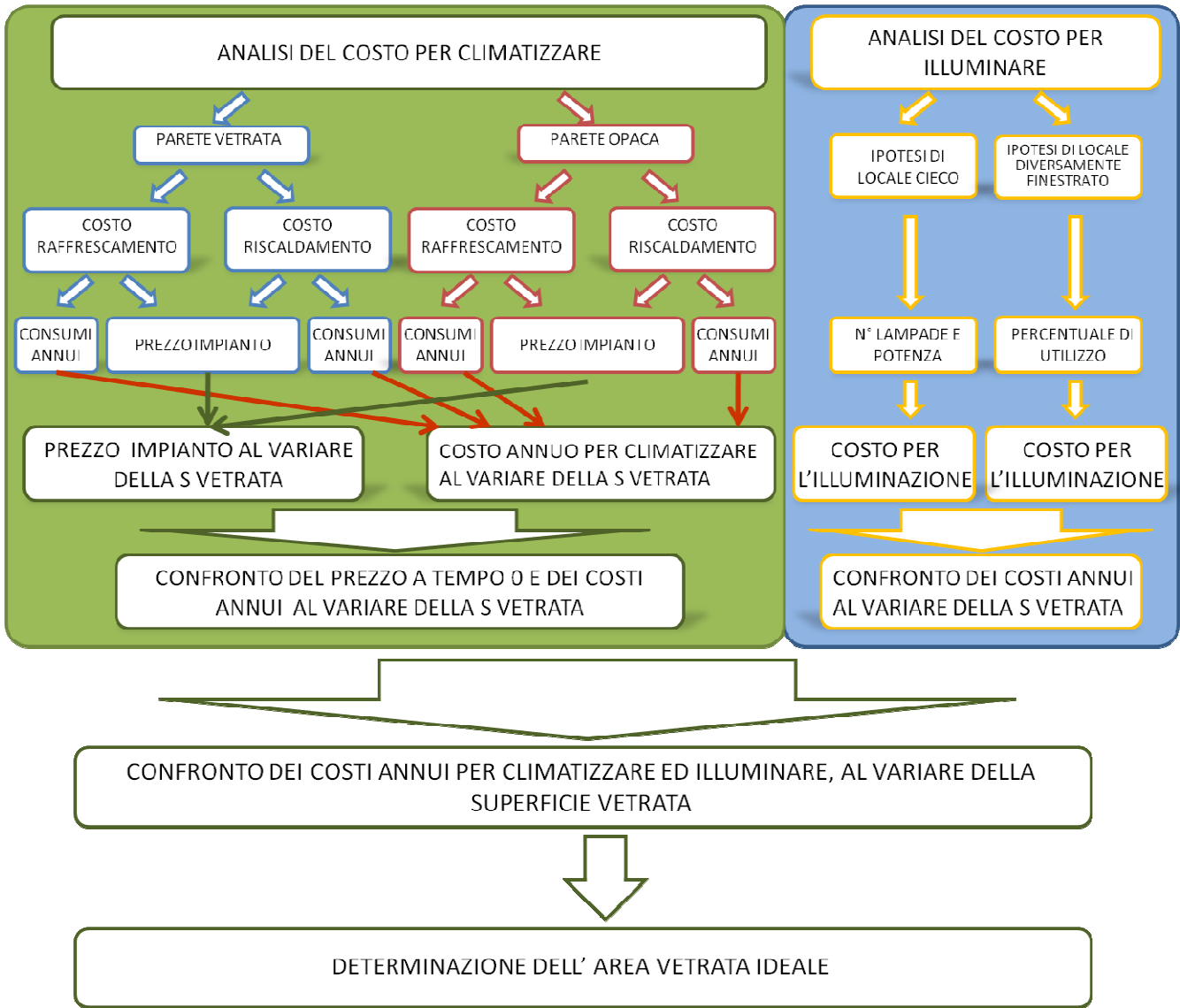


Figura 99 - Procedimento per il modello energetico applicato

Nel modello vengono fatte due analisi fondamentali: una sul piano climatico; l'altra su quello illuminotecnico.

Per la prima si considera l'intero edificio in due condizioni limite : nella prima si ipotizza che sia interamente vetrato; nell'altra invece che sia interamente opaco.

Si esegue uno studio parallelo, analizzando i consumi e si dimensiona l'impianto mantenendo le due ipotesi iniziali. Si confronta infine l'andamento del prezzo e dei consumi annui al variare della superficie vetrata.

Simile procedimento si esegue anche per l'analisi illuminotecnica i cui passaggi sono qui riportati:

Si ipotizza prima che tutti i locali dell'edificio siano ciechi.

Si dimensiona quindi un sistema di illuminazione artificiale per garantire una buona qualità ambientale e si determinano i consumi assorbiti nell'arco della giornata lavorativa.

Abbiamo fatto varie ipotesi di finestratura e studiato per quante ore nell'arco della giornata lavorativa si può tenere inattivo il sistema di illuminazione e quanto si riesce a risparmiare in termini di energia e costi.

Per entrambi gli studi abbiamo costruito un grafico i cui si può apprezzare l'andamento dei costi all'aumentare della finestratura. Intersecando i due andamenti si può infine trovare il punto ottimale i cui parametri sono stati valutati nell'edificio considerato.

4.3.1. ANALISI DEI CONSUMI ANNUI

I consumi nelle due condizioni stagionali: inverno ed estate, sono stati calcolati seguendo la procedura della UNI TS 11300 precedentemente illustrata.

L'unica differenza nel procedimento è si trova nel passaggio finale in cui si cerca il costo per climatizzare a partire dall'energia assorbita dall'impianto.

L'impianto è formato da una pompa di calore e da una UTA. Entrambe le macchine funzionano con energia elettrica. Il consumo di energia della pompa di calore è dato dal rapporto COP (o EER) che rappresenta infatti il rapporto tra energia termica fornita dalla pompa e energia elettrica assorbita. L'apparecchio scelto è quello riportato nella relazione impiantistica caratterizzato da un COP di circa 5.

Il consumo della UTA è relativo ai ventilatori di mandata e di ripresa. Si considerano 0,8 kW.

Dopo aver trovato i consumi elettrici si trova il costo annuo per il riscaldamento moltiplicando l'energia consumata per il costo dell'energia elettrica pari a 0,1771 €/kWh.

Di seguito si riporta quest'ultimo passaggio dei consumi invernali per l'ipotesi di edificio interamente vetrato. L'analisi dei consumi estivi è analoga a quest'ultima.

Come si è visto nel dimensionamento dell'impianto di climatizzazione, sono stati considerati due sistemi indipendenti per il corpo direzione e per il corpo produzione. In questo caso si separano anche le analisi dei consumi per poter confrontare ed associare lo studio impiantistico con quello energetico per le due aree. La tabella sotto riportata è relativa al corpo direzione.

mese	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
EP ter [kWh/mese]	544	10204	20169	21936	12782	5801	322
COP	5	5	5	5	5	5	5
EP ele [kWh/mese]	109	2041	4034	4387	2556	1160	64
EP ele [kWh/anno]	14351						
Pta ventilatori [kW]	0,8						
ore utilizzo[h/anno]	4368						
E _{vent} ele[kWh/anno]	3494						
E _{tot} ele [kWh/anno]	17846						
Prezzo energia elettrica [€/kWh]	0,1771						
Costo riscaldamento [€/anno]	3160						

4.3.2. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO E DETERMINAZIONE DEL PREZZO

Il dimensionamento dell'impianto è stato eseguito procedendo come esplicitato precedentemente.

Per la determinazione del prezzo sono stati valutate solo le macchine di climatizzazione e il sistema radiante a pavimento, non i canali di distribuzione dell'aria. I valori sono stati presi dal prezzario Opere Pubbliche di Milano 2011, molto più completo di quello di Modena.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva per l'impianto nel corpo direzione con l'ipotesi di vetrata interamente vetrata. Il dimensionamento dell'impianto come le voci di capitolato per entrambe le ipotesi, sia per il corpo direzione che per il corpo produzione, sono riportate per intero nell'allegato corrispondente.

PREZZO TOTALE MACCHINARI - EDIFICIO CON PARETI VETRATE	
Elementi impiantistici	Prezzo globale [€]
Unità di trattamento aria a sezioni (UTA)	45402
Pompa di calore condensata ad acqua	38880
Caldaiaetta (per post-riscaldamento estivo)	2028
Sistema radiante	94119
Prezzo totale macchinari [€]	180428

4.3.3. CONFRONTO EDIFICIO INTERAMENTE VETRATO O OPACO

Dopo aver trovato i consumi annui ed il prezzo dell'impianto si può procedere al confronto dei risultati delle due ipotesi.

Lo studio svolto fino ad ora considera però i due corpi, direzione e produzione, come entità uniche. Per poter avere un maggiore controllo su tutto il progetto abbiamo deciso di scomporre l'analisi in componenti specifiche corrispondenti alle facciate dell'edificio per trovare quanto incide un m² di parete vetrata a seconda di come essa è orientata.

Osservando il caso dei consumi estivi per esempio si nota come ci siano alcune pareti che incidono proporzionalmente più di altre nel bilancio finale. Si cerca ora la percentuale di incidenza delle singole pareti.

Come illustrato nello studio dei consumi, le componenti del bilancio sono date dalla trasmissione termica attraverso le pareti, dagli apporti solari, dalla ventilazione, dagli apporti interni. Le prime due componenti sono già funzione della superficie della parete, le seconde invece sono fattori interni indipendenti dall'involucro, ma incidono ugualmente sul bilancio energetico.

Per trovare le componenti specifiche basta dividere le prime per l'estensione delle singole superfici e le seconde per tutta l'area delle chiusure esterne in modo da dare un'uguale componente per ogni orientamento. A questo punto per trovare la percentuale di incidenza delle diverse pareti basta fare una semplice proporzione.

Una volta che si sa quanto incidono si trova il costo che comporta l'intera parete sul bilancio e la sua componente specifica al m².

INCIDENZA AL m ² DI PARETE SUI CONSUMI ESTIVI									
superficie	S [m ²]	Componenti specifiche						$\eta_{C,ls}$ estate	Componente ϕ_{tot} parete [W/m ²]
		$\phi_{C,tr}$ [W/m ²]	$\phi_{C,ct}$ [W/m ²]	$\phi_{C,par}$ [W]	$\phi_{ve\ estate}$ [W/m ²]	ϕ_{int} [W/m ²]	ϕ_{sol} [W/m ²]		
N-E corpo direzione	738	3,7	0,0	0,0	0,4	6,2	65,5	1,00	67,67
N-O corpo direzione	123	3,5	0,0	0,0	0,4	6,2	47,8		50,11
O corpo direzione	104	3,4	0,0	0,0	0,4	6,2	59,3		61,74
S-O corpo direzione	653	3,2	0,0	0,0	0,4	6,2	57,4		59,99
S corpo direzione	32	3,1	0,0	0,0	0,4	6,2	37,8		40,53
S-E corpo direzione	36	3,4	0,0	0,0	0,4	6,2	44,5		46,90
E corpo direzione	32	3,5	0,0	0,0	0,4	6,2	43,6		45,85
Copert C. dir. Vetrato	178	3,5	0,0	0,0	0,4	6,2	155,7		158,01
Copert C. dir. Opaco	1171	0,7	0,0	0,0	0,4	6,2	0,0		5,16
Controtterra C. dir	1022	0,0	1,6	0,0	0,4	6,2	0,0		4,24
S-O zona direzione	39	3,2	0,0	0,0	0,4	6,2	37,1		39,71
S-E zona direzione	77	3,4	0,0	0,0	0,4	6,2	49,1		51,53
Copert. Z. dir. Opaco	159	0,6	0,0	0,0	0,4	6,2	0,0		5,21
Controtterra Z. dir	282	0,0	1,6	0,0	0,4	6,2	0,0		4,24
C. dir - C. Prod	213	0,0	0,0	1,6	0,4	6,2	0,0		4,21
Z. dir - C. Prod	256	0,0	0,0	1,6	0,4	6,2	0,0		4,21

			mesi estate →	
			giugno → agosto	
superficie	Incidenza m ² di parete su diversi orientamenti [%]	Costo raffrescament [€/anno]	Componente costo su parete [€]	Componente specifica costo su parete [€]
N-E corpo direzione	10,36	5780	1866	2,53
N-O corpo direzione	7,67		230	1,87
O corpo direzione	9,46		240	2,31
S-O corpo direzione	9,19		1464	2,24
S corpo direzione	6,21		48	1,51
S-E corpo direzione	7,18		63	1,75
E corpo direzione	7,02		55	1,71
Copert C. dir. Vetrato	24,20		1051	5,91
Copert C. dir. Opaco	0,79		226	0,19
Controtterra C. dir	0,65		162	0,16
S-O zona direzione	6,08		58	1,48
S-E zona direzione	7,89		148	1,93
Copert. Z. dir. Opaco	0,80		31	0,19
Controtterra Z. dir	0,65		45	0,16
C. dir - C. Prod	0,65		34	0,16
Z. dir - C. Prod	0,65		40	0,16

Come si vede dalla tabella, nell'ipotesi di edificio interamente vetrato, tra le superfici che incidono di più vi sono la copertura e le grandi superfici trasparenti sui fronti N-E e S-O. In questo caso la parete N-E è caratterizzata da una percentuale di incidenza maggiore di quella S-O perché gli apporti solari sono maggiori, infatti verso sud è presente il fabbricato dell'azienda vicina che offre un buon ombreggiamento.

Compaiono anche alcune superfici opache che corrispondono alle chiusure controterra, alle partizioni che separano il corpo direzione ed il corpo produzione e a parte della copertura.

Si vede infine che tra le superfici vi sono anche alcune non comprese nel corpo direzione: sono quelle della zona direzione che, come illustrato nella relazione impiantistica, corrispondono ai locali dell'alloggio del custode e degli uffici che vengono ugualmente climatizzati con lo stesso impianto del corpo direzione.

Abbiamo eseguito lo stesso studio qui descritto nell'ipotesi di edificio interamente opaco sia in fase estiva che in invernale.

La risultante delle componenti specifica dei costi la si può leggere dalla tabella seguente.

INCIDENZA PARETI SUL COSTO PER LA CLIMATIZZAZIONE			
Orientamento	S [m ²]	Componente del costo al m ² parete OPACA [€/m ²]	Componente del costo al m ² parete VETRATA [€/m ²]
N-E corpo direzione	738	0,23	3,88
N-O corpo direzione	123	0,31	3,00
O corpo direzione	104	0,39	3,68
S-O corpo direzione	653	0,47	4,15
S corpo direzione	32	0,55	2,59
S-E corpo direzione	36	0,39	2,62
E corpo direzione	32	0,31	1,93
Copert C. dir. Vetrato	178	0,55	10,39
Copert C. dir. Opaco	1171	0,55	0,14
Controtterra C. dir	1022	0,39	0,07
S-O zona direzione	39	0,47	0,91
S-E zona direzione	77	0,39	1,63
Copert. Z. dir. Opaco	159	0,68	0,18
Controtterra Z. dir	282	0,39	0,07
C. dir - C. Prod	213	0,92	0,24
Z. dir - C. Prod	256	0,92	0,24

Si osserva come tutte le pareti vetrate incidano molto più che quelle opache sui costi per la climatizzazione. Ogni orientamento ha però un diverso peso.

Abbiamo riportato i risultati su un grafico che mostra l'andamento dei costi al variare della superficie vetrata.

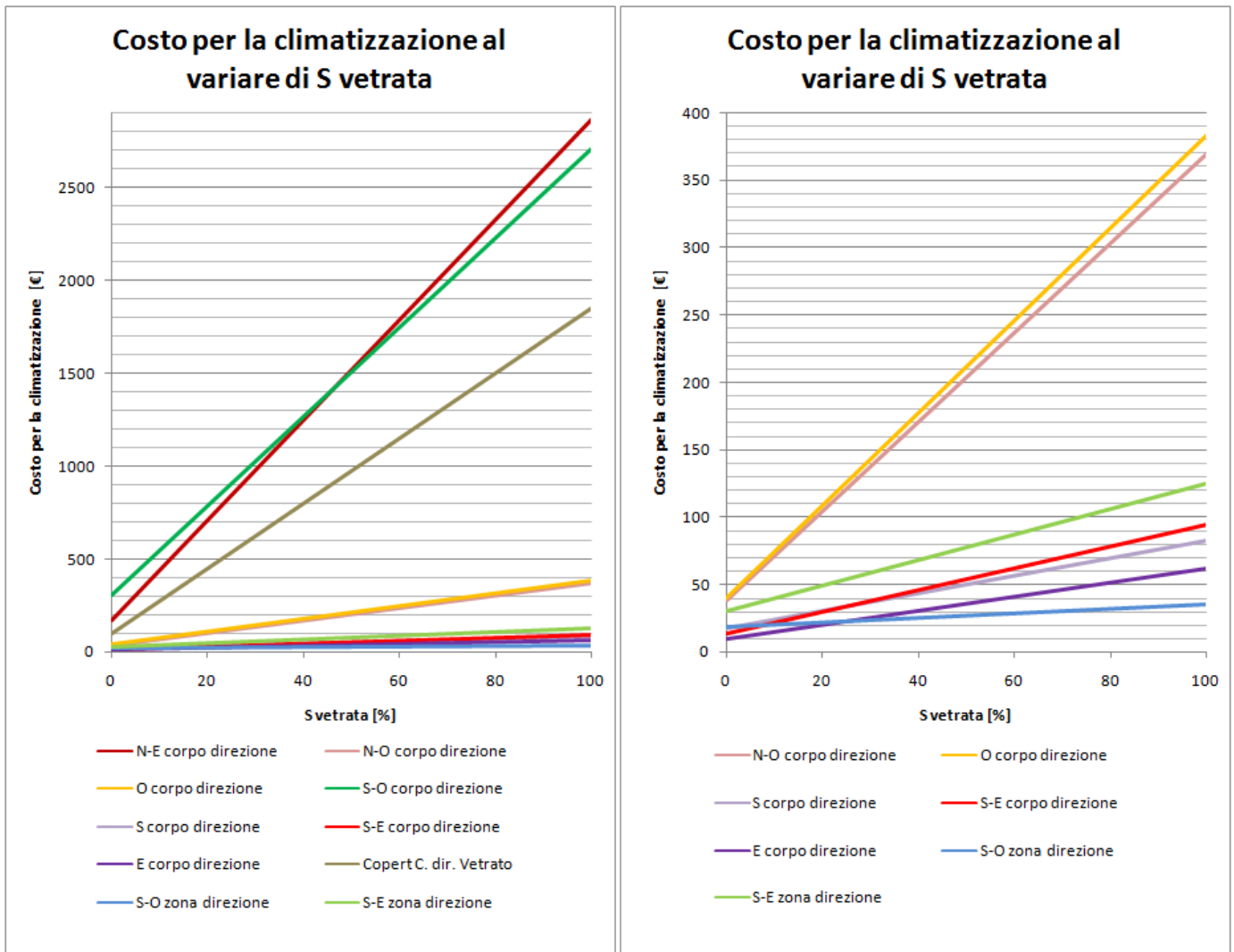


Figura 100 - Costo per climatizzazione a seconda della vetratura

Il grafico di destra è uguale a quello di sinistra, è stata semplicemente cambiata la scala delle ordinate per poter apprezzare l'andamento del costo anche per le pareti di piccola superficie.

La pendenza delle rette mostra l'influenza della componente vetrata. Questa verifica diventa un'importante elemento nella progettazione, perché permette di poter valutare in quale direzione è energeticamente più vantaggioso aprire le luci. In questo caso, se si confrontano le direzioni N-E e S-O risulta privilegiato l'orientamento S-O. Questo perché nel calcolo dei consumi si è vista una forte influenza dell'ombreggiamento fornito dall'edificio e perché nel calcolo della trasmissione è stato considerato un coefficiente accrescitivo di 1,2 in direzione N-O, come illustrato nel relativo paragrafo.

La nostra scelta finale è stata, tuttavia, quella di chiudersi verso S-O per non avere l'affaccio verso il fabbricato antistante architettonicamente non apprezzato.

4.3.4. CONFRONTO ANDAMENTO DEI COSTI STORICI

Analogamente a quanto fatto per i costi per la climatizzazione, è stato analizzato l'andamento del prezzo dell'impianto al tempo zero al variare della superficie vetrata.

Incrociano queste due analisi si può osservare l'andamento dei costi legati ai consumi all'aumentare degli anni per diverse disposizioni vetrate.

Nel grafico seguente la retta rossa corrisponde all'ipotesi di edificio interamente vetrato; quella azzurra all'ipotesi di edificio interamente opaco; quella verde corrisponde invece alla disposizione vetrata considerata nel progetto.

Avendo il corpo direzione un'area vetrata pari a circa il 68% di quella disponibile, la retta è leggermente spostata verso la prima ipotesi.

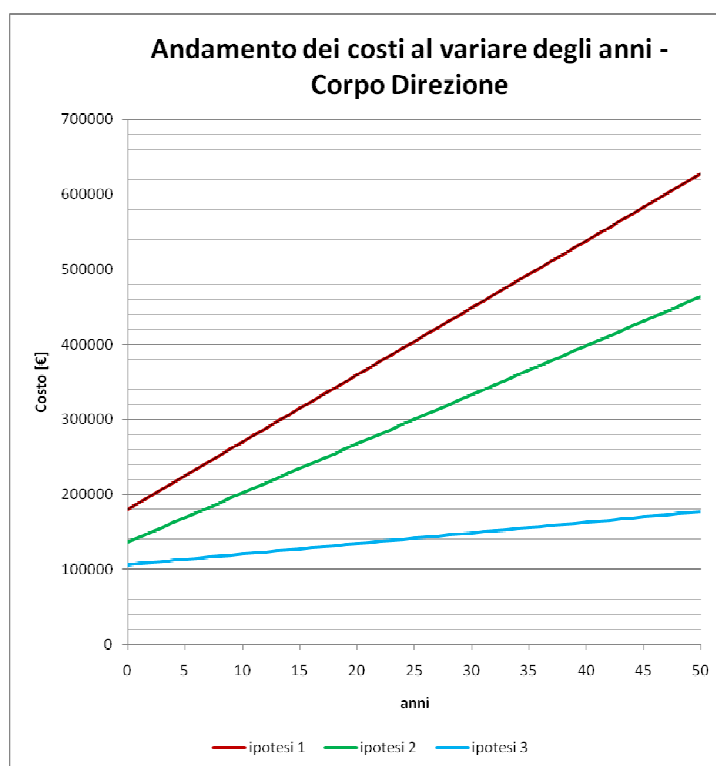


Figura 101 - Andamento dei costi negli anni, corpo direzione

Il valore a tempo zero corrisponde al prezzo dell'impianto; l'inclinazione delle rette invece rappresenta i costi annui per la climatizzazione. Si riporta la variazione per l'arco di tempo di 50 anni che corrispondono alla vita utile dell'edificio.

Un impianto ha una vita utile molto più breve e richiede una certa manutenzione, se non un'eventuale sostituzione. Non potendo ipotizzare le tecnologie presenti in futuro e tanto meno il loro prezzo, si valuta l'impatto economico dell'impianto solo al tempo zero.

Ipotesi	S vetrata[%]	Prezzo impianto [€]	Costo consumi annui [€/anno]
Hp1	100	180428	8941
Hp2	68	136388	6546
Hp3	0	106234	1415

	hp1	hp2	hp3	
Costo anno 0	180428	136388	106234	[€]
Costo anno 1	189369	142933	107649	[€]
Costo anno 5	225132	169117	113309	[€]
Costo anno 10	269835	201846	120383	[€]
Costo anno 20	359241	267304	134533	[€]
Costo anno 50	627459	463679	176981	[€]

La stessa analisi è stata fatta per il corpo produzione di cui si riporta il grafico.

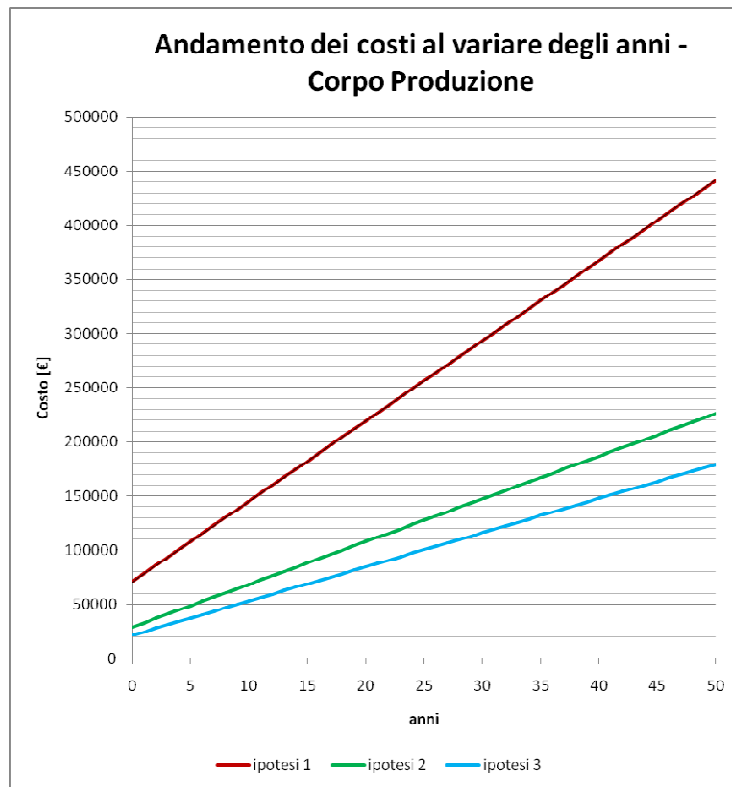


Figura 102 - Andamento dei costi negli anni, corpo produzione

Si sommano quindi i due effetti e si riportano i risultati:

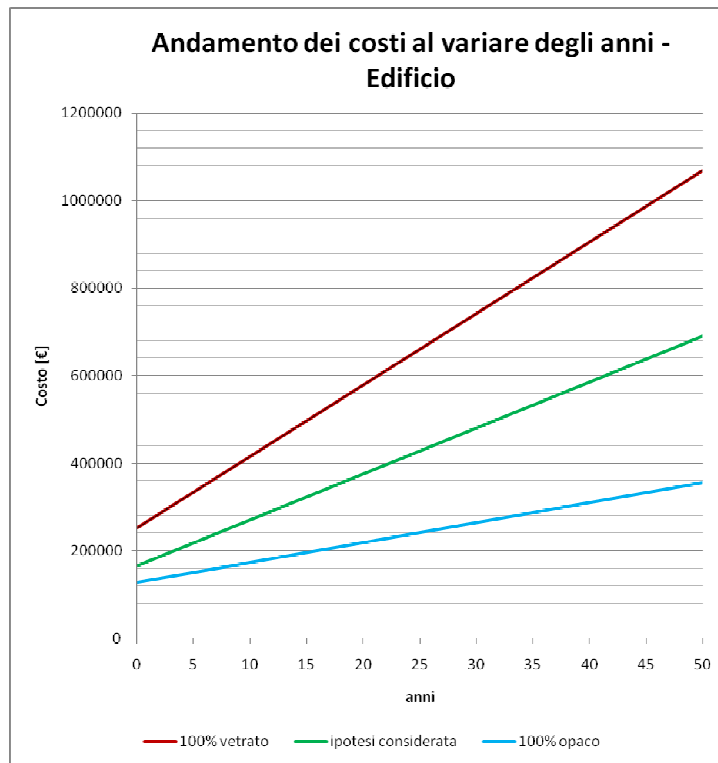


Figura 103- Andamento dei costi negli anni, totale per l'edificio

Ipotesi	S vetrata[%]	Prezzo impianto [€]	Costo consumi annui [€/anno]
Hp1	100	251631	16345
Hp2	59	165503	10488
Hp3	0	127810	4569

	hp1	hp2	hp3	
Costo anno 0	251631	165503	127810	[€]
Costo anno 1	267976	175991	132379	[€]
Costo anno 5	333358	217944	150656	[€]
Costo anno 10	415086	270385	173501	[€]
Costo anno 20	578540	375268	219191	[€]
Costo anno 50	1068905	689915	356263	[€]

4.3.5. VERIFICA DELLE SCELTE PROGETTUALI

In aggiunta al primo controllo illustrato al punto 4.3.3. abbiamo fatto una verifica a posteriori, riassunta nel seguente grafico che rappresenta l'andamento dei costi per la climatizzazione all'aumentare della superficie vetrata, ed è semplicemente la somma di tutte le componenti del grafico del detto punto. L'inclinazione della retta nera corrisponde quindi all'incidenza media della parte vetrata su una parete.

Il punto verde raffigura l'ipotesi progettuale considerata e permette di stabilire la bontà delle scelte architettoniche: a parità di superficie vetrata, infatti, può cadere al di sopra o al di sotto della retta. Se cade al di sopra significa che le aperture sono state posizionate in maniera svantaggiosa dal punto di vista climatico-energetico; se cade al di sotto, al contrario è stata adottata una buona disposizione. Si riporta infine la retta corrispondente al rapporto aeroilluminante da garantire. Non sarà possibile in nessun caso andare a sinistra di questo limite.

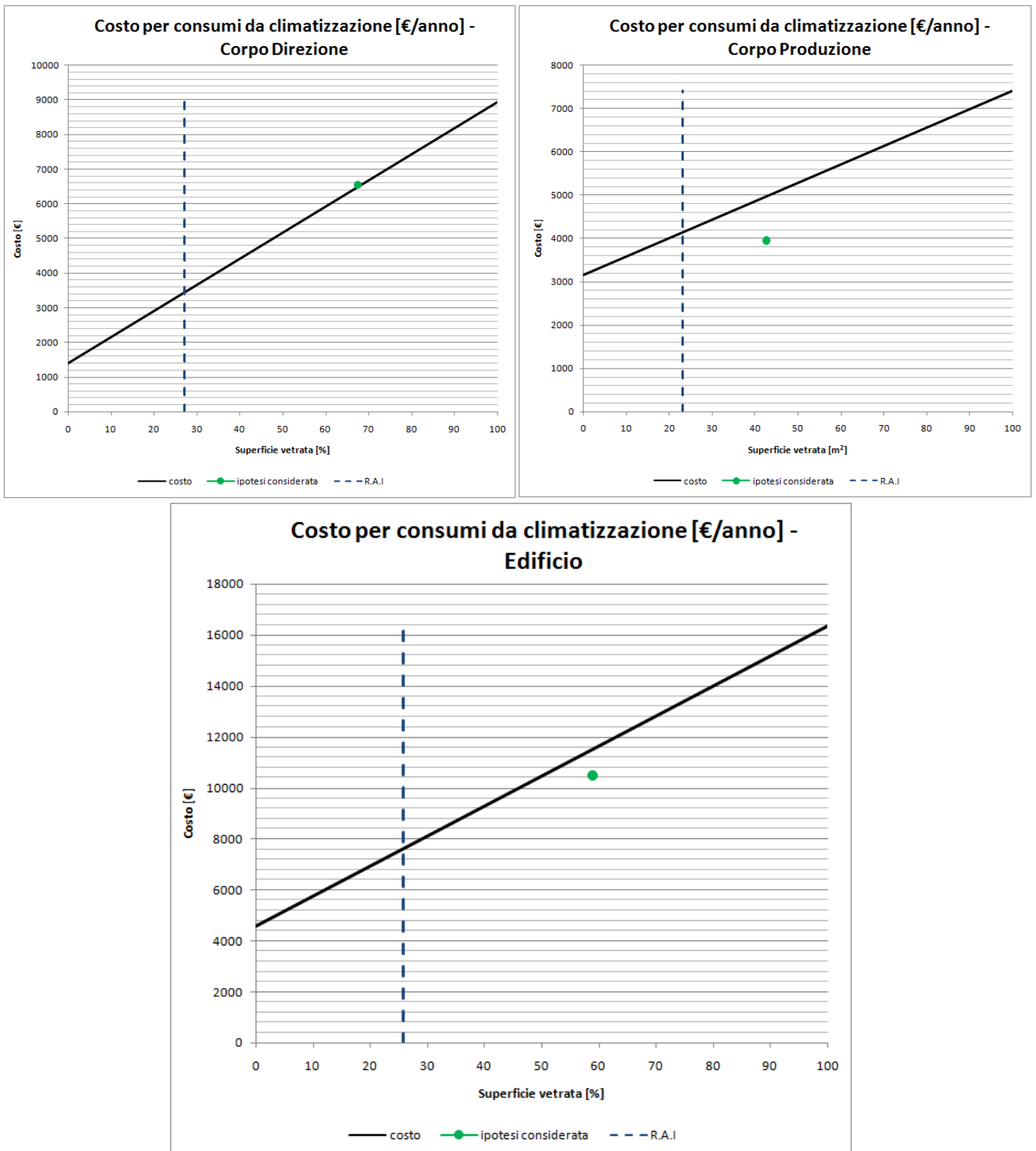


Figura 104 - Valutazione dei consumi per il nostro edificio

4.3.6. ANALISI DEI COSTI PER L'ILLUMINAZIONE

Come spiegato precedentemente, anche in questa analisi si fanno diverse ipotesi di disposizione delle aperture.

Non si può però analizzare l'intero edificio, ma bisogna scomporre l'analisi considerando separatamente tutti i locali. Questo perché, come già detto nel capitolo 2, ogni ambiente ha necessità di illuminazione diverse a seconda della attività svolta.

Prendendo ad esempio il locale adibito agli eventi in cui si considera una quantità di lux necessaria pari a 300 lux (varia a seconda del tipo di evento organizzato), si ipotizza inizialmente che questo sia completamente cieco. Viene fatta quindi l'analisi illuminotecnica tramite il software Dialux e si dimensionano gli apparecchi elettrici e la loro disposizione.

Il consumo relativo a questa ipotesi è dato dalla potenza globale delle lampade impiegate per le ore di utilizzo. Si considera una giornata lavorativa che va dalle 8 alle 19.

Si riporta la disposizione delle lampade e la distribuzione di illuminamento nella stanza.

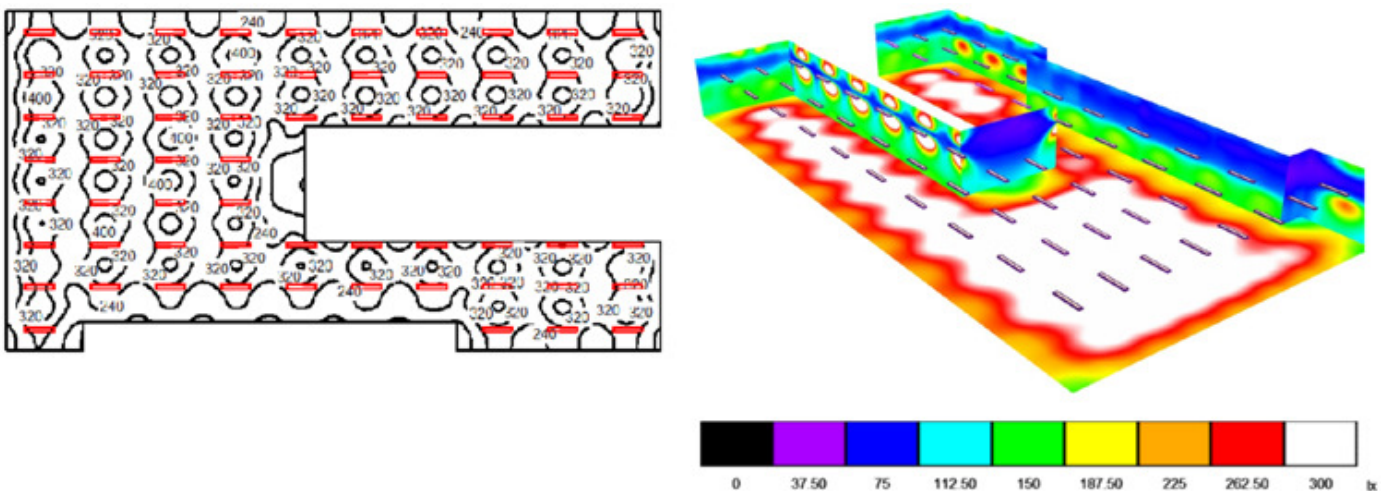


Figura 105 - Disposizione lampade e livelli di illuminamento nella zona eventi

In seguito si fanno tre ipotesi disposizione finestrata nel locale:

- Con superficie trasparente pari al minimo stabilito da R.A.I.
- Con la superficie trasparente ipotizzata nel progetto
- Con la massima superficie trasparente applicabile nel locale.

Tramite il supporto del software Autodesk Ecotect si studia in che percentuale, nella giornata lavorativa, l'illuminazione naturale garantisce il livello di illuminamento richiesto ed in che percentuale è necessario ricorrere a quella artificiale.

Si calcolano quindi i consumi.

Di seguito i risultati ottenuti con il software rispettivamente per le tre soluzioni.

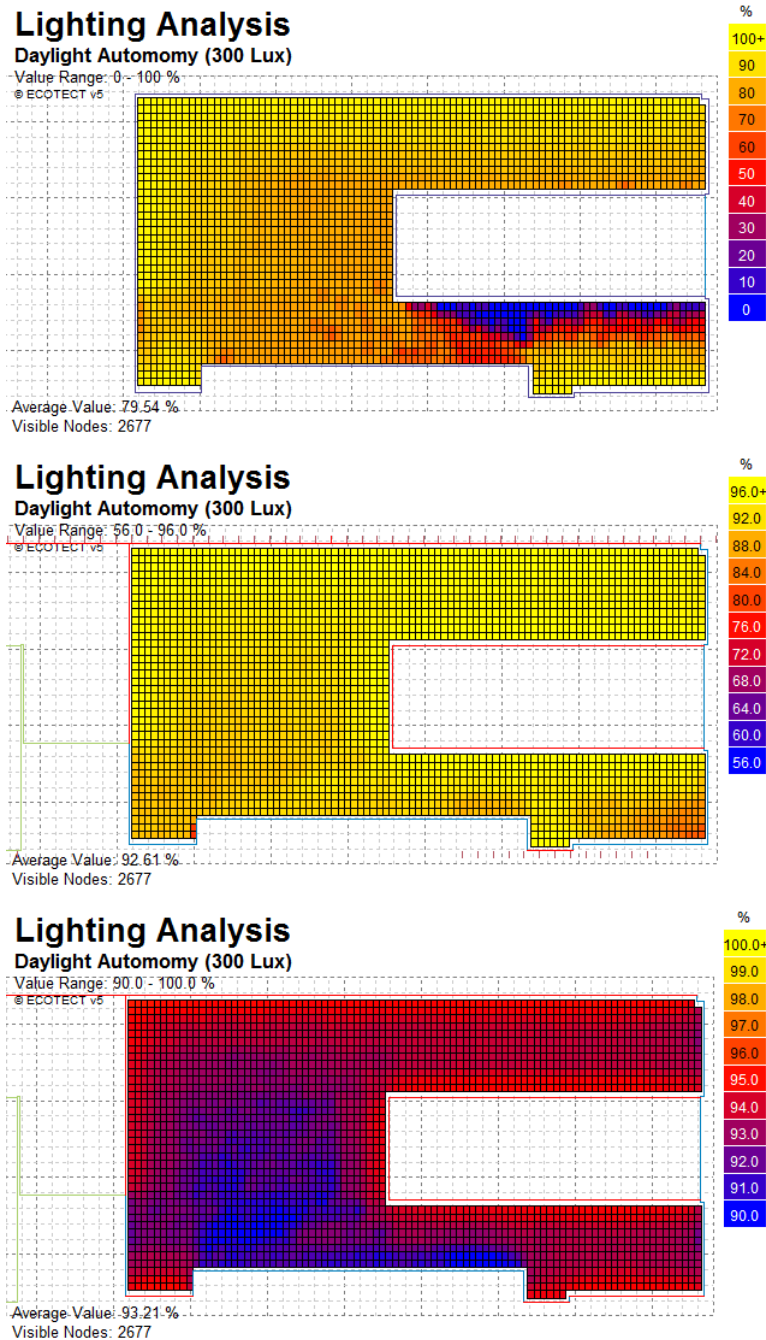


Figura 106 - Percentuale di non utilizzo di illuminazione artificiale

I colori possono trarre in inganno, ma se si osserva la scala applicata si vede come nel primo caso l'illuminazione naturale sopperisce mediamente al 75%, nel secondo al 92%, nel terzo al 93%.

Anche in questo caso si può costruire un grafico che mette a confronto il costo dato dai consumi elettrici al variare della superficie vetrata. Si riportano inoltre i valori tabulati.

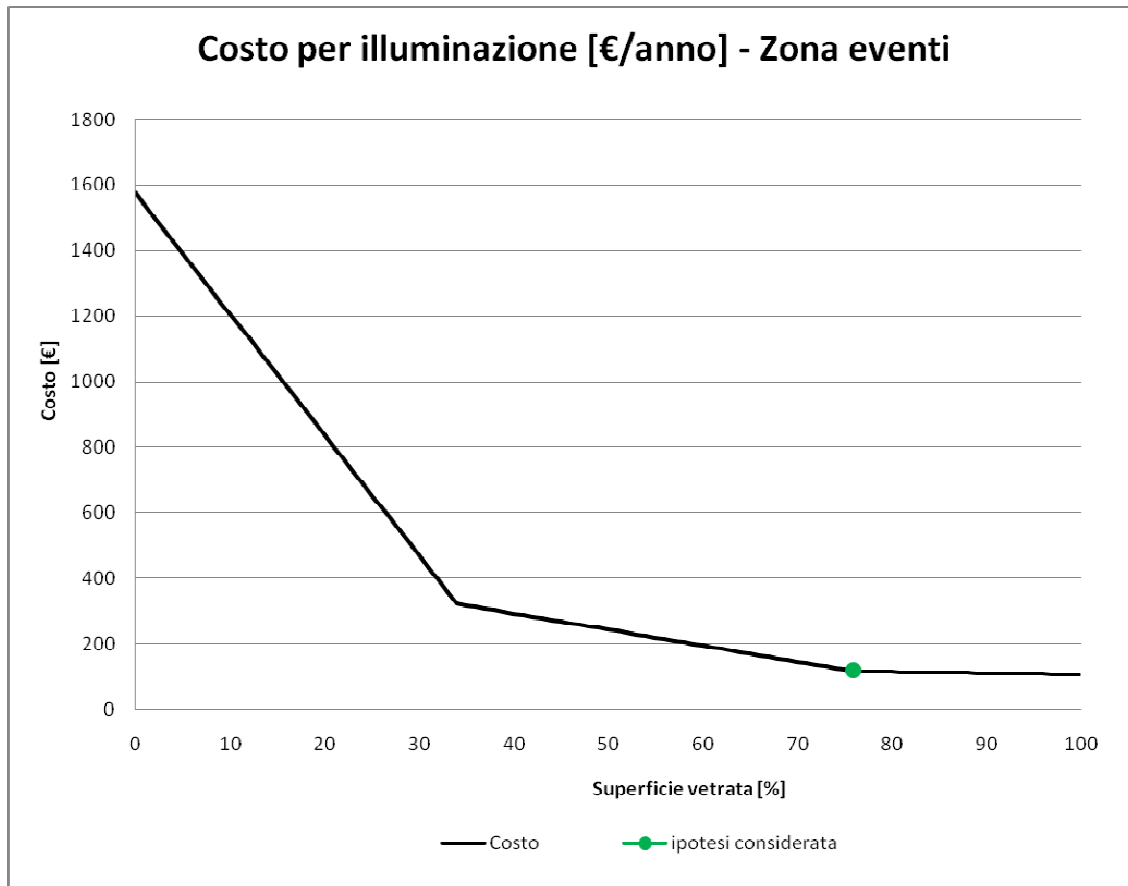


Figura 107 - Costo per illuminazione a seconda della vetratura, zona eventi

COSTO CONSUMI ELETTRICI PER ILLUMINAZIONE - ZONA EVENTI					
	STANZA CIECA	A _w DA R.A.I.	A _w DA PROGETTO	A _w 100%	
A _{pav}	566	566	566	566	[m ²]
A _w	0	70,75	158	208	[m ²]
n° lampade	62	62	62	62	[-]
Tipo lampade	philips TPS498	philips TPS498	philips TPS498	philips TPS498	
Prezzo lampada	270	270	270	270	[€]
Prezzo tot lampade	16740	16740	16740	16740	[€]
Potenza lampada	55	55	55	55	[W]
Potenza tot lampade	3410	3410	3410	3410	[W]
ore di utilizzo diurne	11	11	11	11	[h/gg]
giorni di utilizzo annui	237	237	237	237	[gg/anno]
ore di utilizzo annue	2607	2607	2607	2607	[h/anno]
percentuale di non utilizzo	0	79,54	92,61	93,21	[%]
ore con lampade accese	2607	533	193	177	[h/anno]
Energia elettrica annua	8890	1819	657	604	[kWh/anno]
Costo energia elettrica	0,1771	0,1771	0,1771	0,1771	[€/kWh]
Costo annuo energia elettrica	1574	322	116	107	[€/anno]

Facendo la stessa analisi per tutti i locali e sommandone i risultati si ottiene:

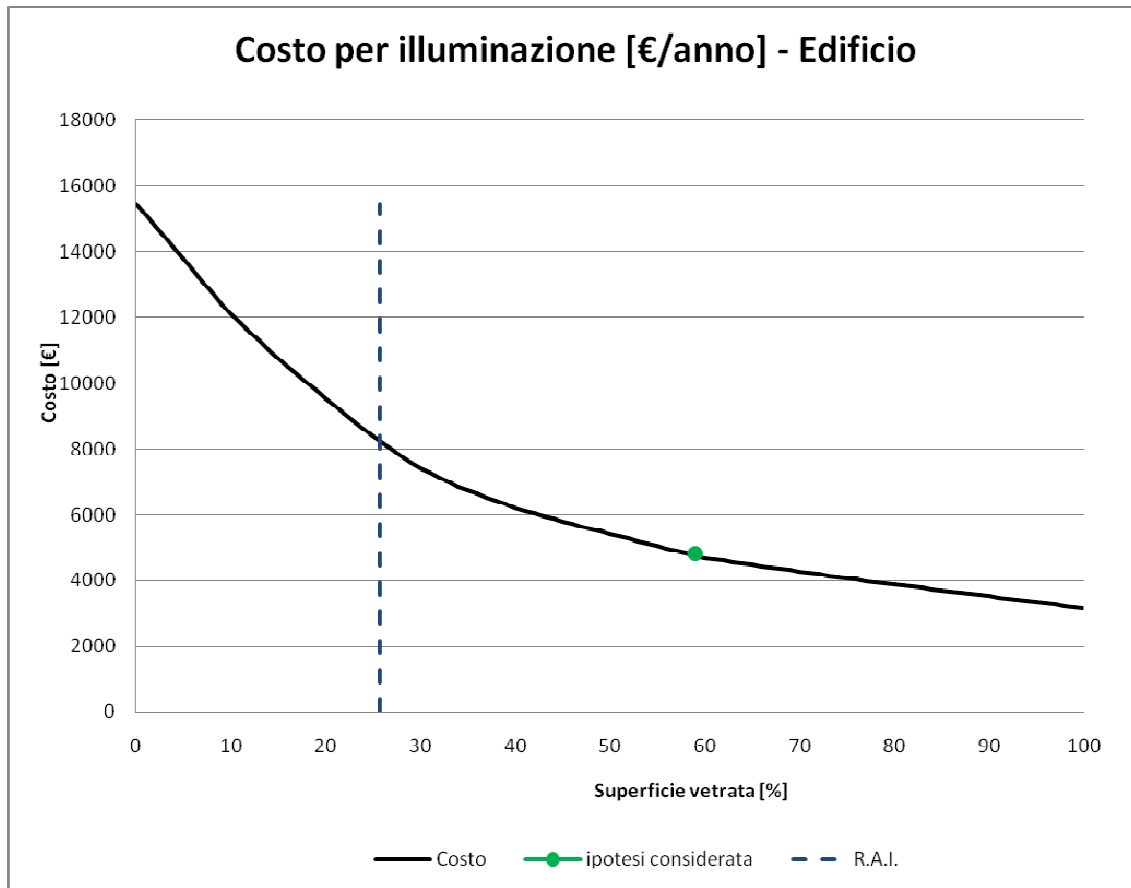


Figura 108 - Costo complessivo per illuminazione a seconda della vetratura

A_w [%]	59
A_w [m ²]	1813
Costo [€/anno]	4826
A_w DA R.A.I. [%]	26
A_w DA R.A.I. [m ²]	793

Nelle ipotesi di progetto ci siamo posizionati in prossimità dei valori più bassi di costo, infatti le grandi vetrate offrono un'ottima illuminazione interna. L'analisi è inoltre fatta solo per le ore della giornata lavorativa, quindi per le ore diurne, di conseguenza risulta che si possono tenere le lampade spente per una grandissima percentuale di tempo.

4.3.7. BILANCIO DEI COSTI ED AREA VETRATA IDEALE

Per trovare l'andamento dei costi all'aumentare della superficie vetrata abbiamo sommato la curva relativa ai costi per l'illuminazione e quella relativa ai costi per la climatizzazione. il risultato è la curva nera rappresentata nel grafico che segue.

L'area vetrata ideale corrisponde al minimo della curva.

La detta curva fa riferimento ad una distribuzione omogenea della superficie vetrata su tutte le chiusure, mantenendo la stessa percentuale di area trasparente, ma dando una diversa distribuzione, la curva può traslare verso l'alto o verso il basso. Nel nostro caso ci si sposta verso il basso, quindi è stata adottata una buona strategia architettonica nella composizione delle parti trasparenti.

Il punto verde corrisponde invece alla situazione in cui si pone il progetto da noi studiato e si sposta lungo la curva verde. Come si nota, il progetto si avvicina molto al minimo costo.

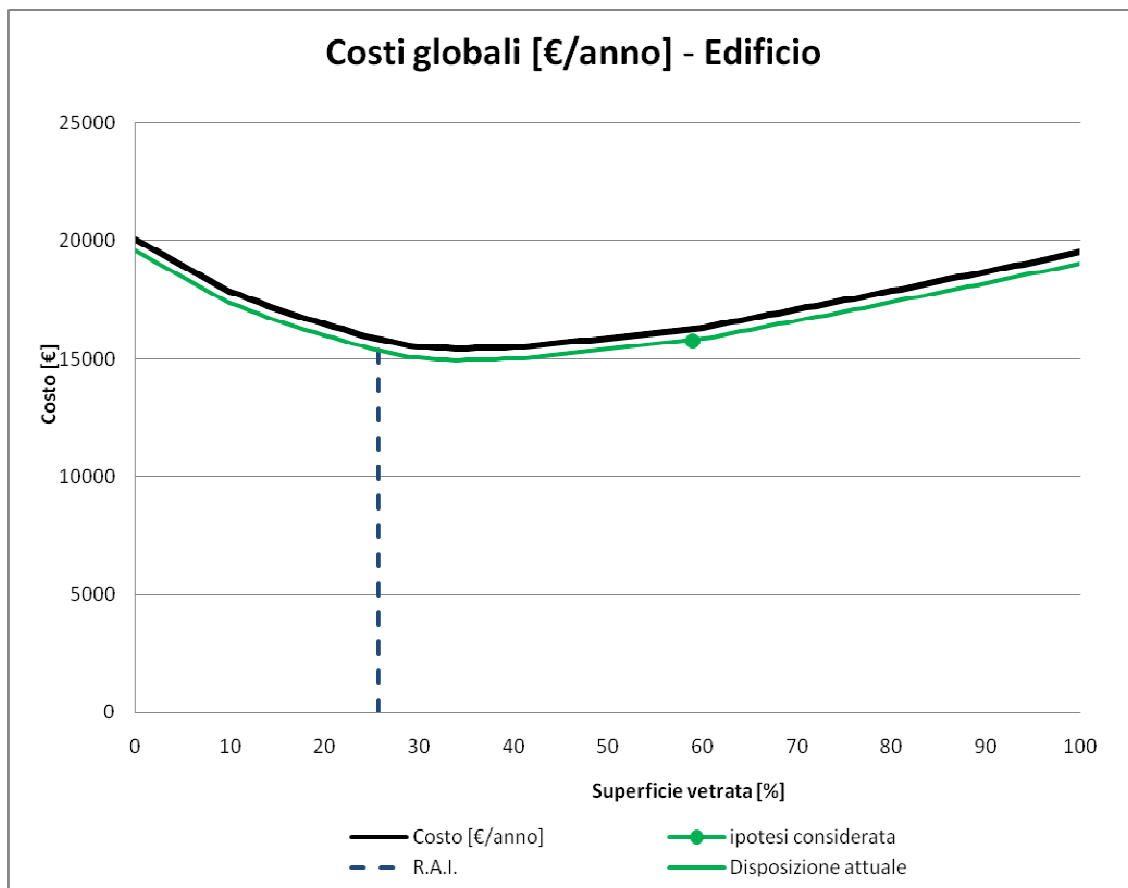


Figura 109 - Curva dei costi al variare della percentuale vetrata

4.3.8. SCOMPOSIZIONE DELLA CURVA DEI COSTI GLOBALI

Per poter fare un confronto tra le varie componenti del costo globale, si riporta la scomposizione di questo: la curva gialla rappresenta i costi per l'illuminazione; quella azzurra i costi per il raffrescamento; quella rossa i costi per il riscaldamento.

A basse percentuali di superficie vetrata il fattore che incide maggiormente è il costo per l'illuminazione, ad altissime percentuali è invece il costo per il raffrescamento estivo.

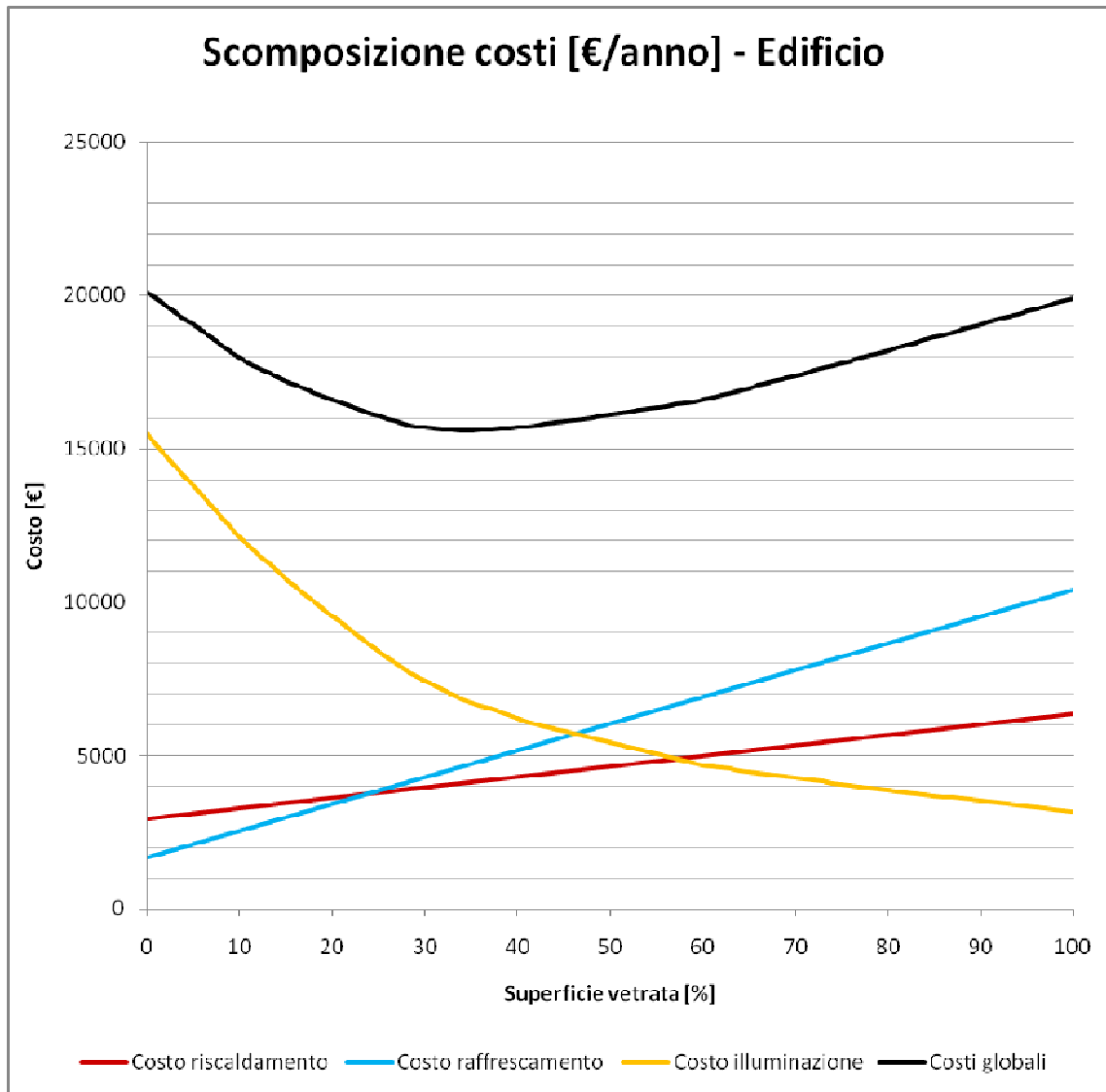


Figura 110 - Scomposizione dei costi globali

Parte Quinta

Analisi strutturale

5. INTRODUZIONE

In questo capitolo verrà analizzato il dimensionamento della struttura portante dell'edificio. Abbiamo scelto di utilizzare due materiali differenti a seconda degli ambienti e dei piani, dando vita a una struttura di tipo misto acciaio-legno. La scelta è ricaduta su questi materiali per vari motivi. L'acciaio ad esempio ci consente di realizzare una maglia strutturale più leggera e di più semplice gestione in fase di cantiere rispetto alle strutture in cemento armato, questo grazie alla maggiore controllabilità dimensionale e alle minori lavorazioni da svolgere direttamente in cantiere rispetto le strutture tradizionali. E' stato preferito anche ai sistemi di prefabbricazione in CLS in quanto la nostra scelta è stata di dare all'edificio una maggior flessibilità architettonica di quanto fosse consentito con dei setti o degli elementi prefabbricati. Inoltre l'acciaio ci consente di avere un'integrazione architettonica migliore con il legno, per non dimenticare il pregio di poter essere smontato e riciclato in fase di dismissione dell'edificio. L'uso del legno permette di lasciare a vista la struttura portante, creando inoltre ambienti più raffinati e "caldi" dal punto di vista estetico rispetto ad acciaio e CLS. Questo materiale è stato usato per i piani superiori degli edifici, ossia quelle zone che ospitano eventi e lavoratori in modo permanente. Svolgere attività di lavoro in ambienti più accoglienti rispetto ai classici uffici o industrie determina un grado maggiore di comfort che si traduce in un aumento della produttività e della qualità del lavoro. Il legno, come l'acciaio, ha bisogno di una limitata lavorazione in cantiere e quindi si presta bene ad una costruzione veloce e precisa, ricordando anche per questo materiale i benefici che derivano dalla sua eco compatibilità e riciclabilità.

5.1. RIFERIMENTI NORMATIVI PER LA PROGETTAZIONE

I documenti consultati in fase di progettazione sono state le **“norme tecniche per le costruzioni”** di cui al **D.M. del 14 gennaio 2008** specialmente per quanto riguarda la parte sull’analisi dei carichi, la valutazione dell’azione sismica e il dimensionamento della parte in acciaio e dei controventi. Per la parte in legno invece la normativa di riferimento è stata l’**Eurocodice 5 “progettazione delle strutture in legno”**.

5.2. IL CORPO DIREZIONALE

La parte anteriore dell’edificio ospita le attività legate alla direzione aziendale e alla vendita al pubblico. Visto il regolamento edilizio vigente nel comune di Carpi, lo sviluppo in altezza consentito è di 12 metri, spazio sufficiente per poter suddividere la zona in tre piani. La scelta di utilizzare l’acciaio per la struttura tra piano terra e primo piano non è casuale; il motivo è da ricercare proprio nella necessità di una certa altezza interna, che non deve essere troppo bassa nemmeno sottotrave. Il primo piano infatti è quello che ospita la zona eventi, ossia quella che necessita di essere verificata a carichi variabili più alti di tutte gli altri piani. In fase di progettazione abbiamo stabilito quali dovessero essere le altezze minime per ogni piano a seconda delle destinazioni d’uso, e abbiamo notato che per rispettare questo valore fosse più pratico utilizzare delle travi in acciaio, che a parità di distribuzione riescono ad avere uno spessore minore di quelle in legno. L’alternativa sarebbe stata impiegare una maglia strutturale più fitta, che però sarebbe risultata inopportuna viste le necessità di spazi liberi richieste dagli ambienti. La struttura tra secondo e terzo piano invece è stata progettata per resistere a carichi variabili inferiori visto che ospita gli uffici, per cui l’uso delle travi in legno, seppur con altezze maggiori, non ha causato lo stesso tipo di problemi menzionati precedentemente. La zona eventi ha un’altezza interpiano maggiore, dovendo ospitare anche la passerella per le sfilate, per cui consente l’uso di travi più alte. Anche la copertura ha una struttura in legno e, dati i modesti carichi che deve sopportare, le altezze delle travi riescono ad essere contenute entro limiti accettabili allo svolgimento delle attività di ufficio. Le strutture di elevazione invece sono costituite da pilastri in acciaio in tutti i piani. La scelta di usare pannelli strutturali in legno per i solai ha permesso di utilizzare meno travi secondarie rispetto a un solaio realizzato in lamiera grecata e getto collaborante, oltre a non necessitare di una controsoffittatura.

5.3. IL CORPO PRODUTTIVO

Anche per il magazzino e i locali annessi è stata usata la stessa logica del corpo direzionale. Tra piano terra e primo piano la struttura è in acciaio; questa volta però il motivo non è da attribuire ai carichi variabili del secondo piano (pari alla metà di quelli della zona eventi). Il motivo innanzitutto è di tipo pratico, vista la continuità che va a crearsi con il primo piano del corpo direzionale, mentre in secondo luogo la presenza di ambienti come gli spogliatoi e le docce (ma in generale di ambienti a controllo climatico minore), dove la presenza di umidità è maggiore, costringerebbe ad una progettazione delle travi in legno secondo classi d’uso più basse, quindi ad un uso maggiore di materiale e di tecniche di protezione. La copertura invece rimane in legno, sia per un motivo di continuità strutturale con la parte direttiva, ma soprattutto per rendere la

zona produttiva un luogo di maggior pregio rispetto ai classici capannoni industriali. Data l'altezza della copertura lo spessore delle travi non costituisce un problema, anzi nella zona dell'appartamento del custode è stato aggiunto un controsoffitto in legno per limitare l'altezza interna del locale, che risulterebbe altrimenti spropositata.

5.4. SCHEMA PROGETTUALE

Per aiutare la comprensione dei successivi fogli di calcolo si allega un immagine-navigatore che riassume i codici attribuiti alle diverse macrozone dell'edificio. Le aree sono classificate mediante numeri e lettere, che spesso appariranno riportati nei titoli delle schede.

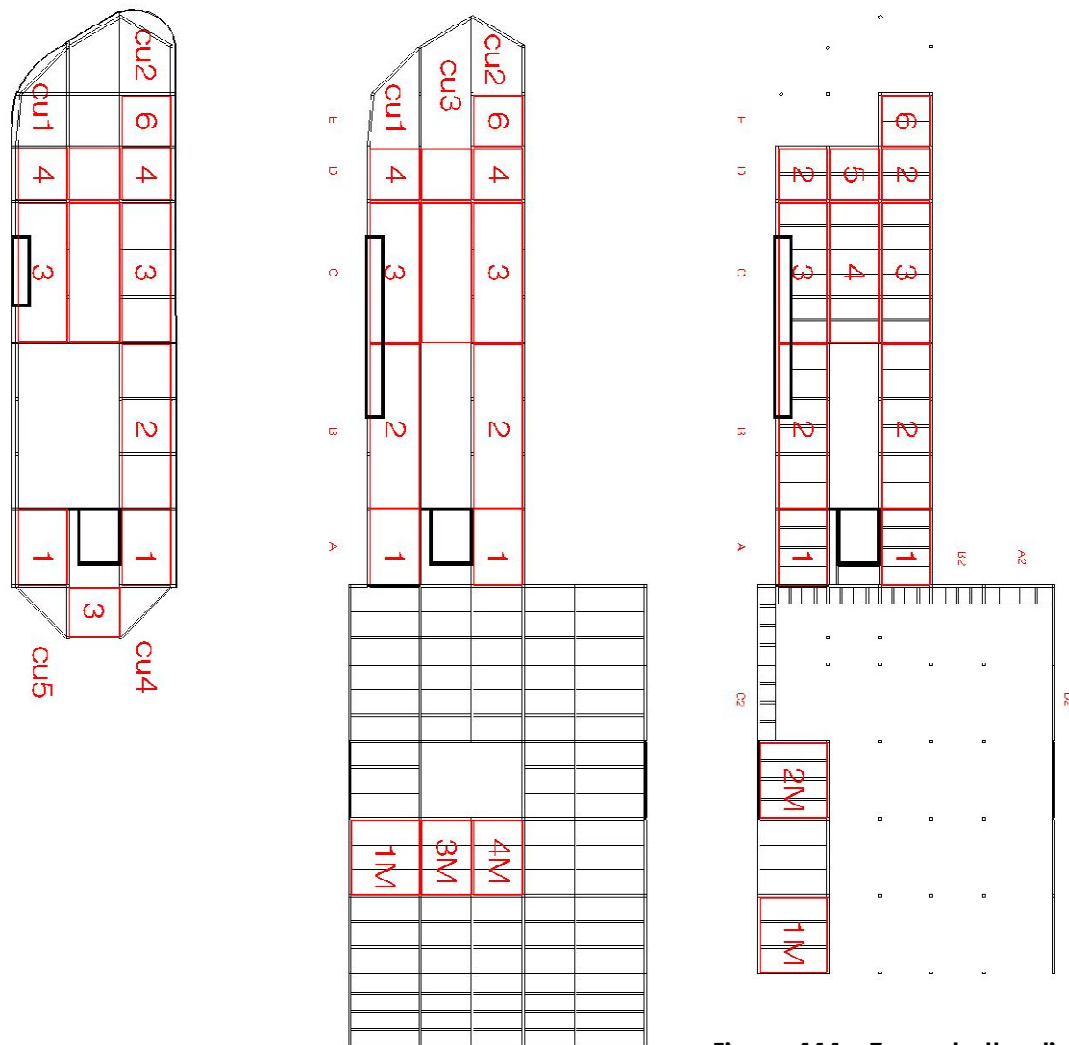


Figura 111 - Zone strutturali

5.5. ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi viene svolta per capire a quali tipi di sollecitazione è soggetto il nostro edificio. Tra essi ricordiamo i pesi delle stratigrafie utilizzate, divisibili in strutturali e non strutturali, i carichi variabili dipendenti dal tipo di funzione ospitata dall'ambiente, l'analisi delle azioni del vento e della neve

5.5.1. CARICHI VERTICALI DELLE STRATIGRAFIE

ANALISI DEI CARICHI - CHIUSURE ORIZZONTALI

CO 06

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Sistema di drenaggio e terra	0,14		1,08		110,00
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Isolante termico	0,07	1,13	0,08	115,00	8,05
Barriera al vapore	0,001	2,45	0,00	250,00	0,25
Pannello Lignum	0,16		0,37		38,00
			1,63		166,30

Peso strutt. G1	0,37 kN/m²
Peso non strutt.	1,26 kN/m²

CO 06b

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Pavimento flottante			0,09		9,00
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Isolante termico	0,09	1,13	0,10	115,00	10,35
Barriera al vapore	0,001	2,45	0,00	250,00	0,25
Pannello Lignum	0,16		0,37		38,00
			0,66		67,60

Peso strutt. G1	0,37 kN/m²
Peso non strutt.	0,29 kN/m²

CO 07

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Lamiera grecata	0,001	26,49	0,03	2700,00	2,70
Listelli in legno			0,02		2,50
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Barriera al vapore	0,001	2,45	0,00	250,00	0,25
Isolante termico	0,09	1,47	0,13	150,00	13,50
Pannello Lignum	0,16		0,37		38,00
			0,66		66,95

Peso strutt. G1	0,37 kN/m²
Peso non strutt.	0,28 kN/m²

CO 08

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Sistema di drenaggio e terra	0,14		1,03		105,00
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Isolante termico	0,07	0,98	0,07	100,00	7,00
Barriera al vapore	0,001	2,45	0,00	250,00	0,25
Pannello Lignum	0,16		0,37		38,00
Controsoffitto in legno			0,14		14,50
			1,71		174,75

Peso strutt. G1	0,37 kN/m²
Peso non strutt.	1,34 kN/m²

ANALISI DEI CARICHI - PARTIZIONI ORIZZONTALI

PO 01

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Piastrelle	0,015	21,58	0,32	2200,00	33,00
Riscaldamento a pavimento	0,02	10,79	0,22	1100,00	22,00
Massetto	0,045	19,62	0,88	2000,00	90,00
Isolante termico	0,11	0,49	0,05	50,00	5,50
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Predalles e getto di complet.			3,48		355,00
			5,06		515,50

Peso strutt. G1	3,48 kN/m²
Peso non strutt.	1,57 kN/m²

PO 02

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Parquet	0,02	7,06	0,14	720,00	14,40
Riscaldamento a pavimento	0,02	10,79	0,22	1100,00	22,00
Massetto CLS alleggerito	0,07	4,71	0,33	480,00	33,60
Isolante acustico	0,01	6,87	0,07	700,00	7,00
Pannello in legno multistrato	0,12	4,71	0,57	480,00	57,60
			1,32		134,60

Peso strutt. G1	0,57 kN/m²	0,75 per PO 02e
Peso non strutt.	0,87 kN/m²	

PO 02b

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Piastrelle	0,01	22,56	0,23	2300,00	23,00
Riscaldamento a pavimento	0,02	10,79	0,22	1100,00	22,00
Massetto CLS alleggerito	0,07	4,71	0,33	480,00	33,60
Isolante acustico	0,01	6,87	0,07	700,00	7,00
Pannello in legno multistrato	0,12	4,71	0,57	480,00	57,60
			1,40		143,20

Peso strutt. G1	0,57 kN/m²	0,75 per PO 02f
Peso non strutt.	0,84 kN/m²	

PO 02c

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Parquet	0,02	7,06	0,14	720,00	14,40
Massetto CLS alleggerito	0,20	4,71	0,94	480,00	96,00
Isolante acustico	0,01	6,87	0,07	700,00	7,00
Pannello in legno multistrato	0,16	4,71	0,75	480,00	76,80
Controsoffitto	0,13		0,08		8,00
			1,98		202,20

Peso strutt. G1	0,75 kN/m²
Peso non strutt.	1,15 kN/m²

PO 02d

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Piastrelle	0,01	22,56	0,23	2300,00	23,00
Massetto CLS alleggerito	0,20	4,71	0,94	480,00	96,00
Isolante acustico	0,01	6,87	0,07	700,00	7,00
Pannello in legno multistrato	0,16	4,71	0,75	480,00	76,80
Controsoffitto	0,13		0,08		8,00
			2,07		210,80

Peso strutt. G1	0,75 kN/m²
Peso non strutt.	1,24 kN/m²

PO 03

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Sistema di drenaggio e terra	0,24		2,26		230,00
Guaina impermeabilizzante	0,01	9,81	0,10	1000,00	10,00
Massetto CLS alleggerito	0,03	4,91	0,15	500,00	15,00
Barriera al vapore	0,001	2,45	0,00	250,00	0,25
Pannello in legno multistrato	0,16	4,71	0,75	480,00	76,80
Controsoffitto	0,13		0,08		8,00
			3,34		340,05

Peso strutt. G1	0,75 kN/m²
Peso non strutt.	2,58 kN/m²

ANALISI DEI CARICHI - CHIUSURE VERTICALI**CV 02**

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Pannelli in composito e sist. agg.	0,07		0,17		17,50
Blocchi in gasbeton	0,40	4,50	1,80	458,72	183,49
			1,97		200,99

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m
PT	3,5	6,90
P1	3,9	7,69
P2	3,5	6,90

MAG	metri	Peso kN/m
PT	3,5	6,90
P1	3,9	7,69

CV 03

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Pannelli in acciaio e sist. agg.	0,060		0,23		23,00
Lastre in fibrocemento	0,025	14,72	0,37	1500,00	37,50
Cannucciato e struttura sostegno	0,250	1,96	0,49	200,00	50,00
Barriera al vapore	0,002	2,45	0,00	250,00	0,50
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
			1,33		136,00

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m
PT	3,5	4,67
P1	3,9	5,20
P2	3,5	4,67

MAG	metri	Peso kN/m
PT	3,5	4,67
P1	3,9	5,20

CV 03b

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Pannelli in acciaio e sist. agg.	0,060		0,23		23,00
Lastre in fibrocemento	0,025	14,72	0,37	1500,00	37,50
Cannucciato e struttura sostegno	0,250	2,01	0,50	205,00	51,25
Barriera al vapore	0,002	2,45	0,00	250,00	0,50
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
Piastrelle	0,01	22,56	0,23	2300,00	23,00
			1,57		160,25

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m
PT	3,5	5,50
P1	3,9	6,13
P2	3,5	5,50

MAG	metri	Peso kN/m
PT	3,5	5,50
P1	3,9	6,13

CV 04

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Montanti in acciaio			0,08		8,00
Traverso in acciaio			0,08		8,00
Doppio vetro	0,016	24,53	0,39	2500,00	40,00
			0,55		56,00

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m
PT	3,5	1,92
P1	3,9	2,14
P2	3,5	1,92

MAG	metri	Peso kN/m
PT	3,5	1,92
P1	3,9	2,14

CV 04b

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Montanti in acciaio			0,08		8,00
Traverso in acciaio			0,08		8,00
Triplo vetro	0,022	24,53	0,54	2500,00	55,00
			0,70		71,00

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m
PT	3,5	2,44
P1	3,9	2,72
P2	3,5	2,44

MAG	metri	Peso kN/m
PT	3,5	2,44
P1	3,9	2,72

ANALISI DEI CARICHI - PARTIZIONI VERTICALI

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni può essere uguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_2 . Questo carico dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_2 delle partizioni secondo la seguente classificazione:

- 1) elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$ $g = 0,40 \text{ KN/m}^2$
- 2) elementi divisori con $1,00 \text{ KN/m} < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$ $g = 0,80 \text{ KN/m}^2$
- 3) elementi divisori con $2,00 \text{ KN/m} < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$ $g = 1,20 \text{ KN/m}^2$
- 4) elementi divisori con $3,00 \text{ KN/m} < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$ $g = 1,60 \text{ KN/m}^2$
- 5) elementi divisori con $4,00 \text{ KN/m} < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$ $g = 2,00 \text{ KN/m}^2$

Visto che nel nostro edificio le partizioni interne sono distribuite in maniera poco uniforme, abbiamo deciso di sommare i pesi delle partizioni di ogni piano e dividerlo per la superficie dello stesso, per ottenere un valore "spalmato" più vicino alla realtà di quanto suggerisca il metodo precedente. Per cautelarci ulteriormente amplificheremo i valori trovati del 20%.

PV 03b

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Piastrelle	0,01	22,56	0,23	2300,00	23,00
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
Struttura metallica e kenaf	0,050	1,08	0,05	110,00	5,50
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
Piastrelle	0,01	22,56	0,23	2300,00	23,00
			1,00		101,50

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m	m lineari a piano
PT	3,5	3,49	17
P1	3,9	3,88	17
P2	3,5	3,49	16,5

MAG	metri	Peso kN/m	m lin. a piano
PT	3,5	3,49	15
P1	3,9	3,88	0

PV 03c

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
Struttura metallica e kenaf	0,050	1,08	0,05	110,00	5,50
Lastre di cartongesso	0,025	9,81	0,25	1000,00	25,00
			0,54		55,50

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m	m lineari a piano
PT	3,5	1,91	11
P1	3,9	2,12	21,5
P2	3,5	1,91	30

MAG	metri	Peso kN/m	m lin. a piano
PT	3,5	1,91	24
P1	3,9	2,12	22,5

PV 04

Strato	Spessore (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Peso (kN/m ²)	Peso unitario (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
Montanti e traversi in acciaio			0,12		12,00
Vetro singolo	0,01	20,00	0,20	2400,00	24,00
			0,32		36,00

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m	m lineari a piano
PT	3,5	1,11	56,6
P1	3,9	1,24	63
P2	3,5	1,11	97

MAG	metri	Peso kN/m	m lin. a piano
PT	3,5	1,11	5
P1	3,9	1,24	0

UFF	Interpiano (m)	Peso kN/m	m lineari a piano
PT	3,5	1,59	0
P1	3,9	1,77	0
P2	3,5	1,59	0

MAG	metri	Peso kN/m	m lin. a piano
PT	3,5	1,59	0
P1	3,9	1,77	0
Copertura	1,3	0,59	322

PESI SPALMATI

UFF	peso partiz. kN	m2 calpestabili	kN/m ²
g PT	351,623	1264	0,28
g P1	381,840	932	0,41
g P2	380,151	1225	0,31

MAG	peso part. kN	m2 calpestabili	kN/m ²
g PT	350,970	1690	0,21
g P1	175,657	370	0,47

20% in più	0,33
20% in più	0,49
20% in più	0,37

20% in più	0,25
20% in più	0,57

5.5.2. AZIONI DEL VENTO

L'azione del vento è definita nel paragrafo 3.3.1 delle NTC : "Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti ...". Di seguito ricaviamo le pressioni statiche equivalenti secondo i procedimenti espressi nel capitolo 3.3 delle NTC 2008.

AZIONI DEL VENTO NTC 2008

CARPI

ZONA DI VENTO 2

26 msls

La velocità di riferimento del sito è stata calcolata con il procedimento riportato sotto, secondo le formule del paragrafo 3.3.2 delle NTC.

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d' Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015

altezza sul livello del mare	a_s	26	[m]
altezza di riferimento (tabella 3.3.I NTC)	a_0	750	[m]
verifica	$a_s < a_0$		verificata
velocità tabulata (tabella 3.3.I NTC)	$v_{b,0}$	25	[m/s]
velocità di riferimento	$v_b = v_{b,0}$	25	[m/s]

Si è ottenuto $v_b = v_{b,0}$ perché $a_s < a_0$

La pressione cinetica di riferimento è stata calcolata con il procedimento riportato sotto, secondo le formule del paragrafo 3.3.6 delle NTC. $q_b = 1/2 \times (\rho \times v_b^2)$

densità dell'aria	ρ	1,25	[kg/m ³]
pressione cinetica di riferimento	q_b	390,625	[N/m ²]

Gli altri dati necessari, riportati nella tabella sottostante, sono funzione del sito di progetto.

$$c_e = k_r \cdot k_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot (7 + c_t \cdot \ln(z/z_0))$$

$$c_e = k_r \cdot k_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot (7 + c_t \cdot \ln(z/z_0))$$

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innestate o ghiacciate, mare, laghi,...)

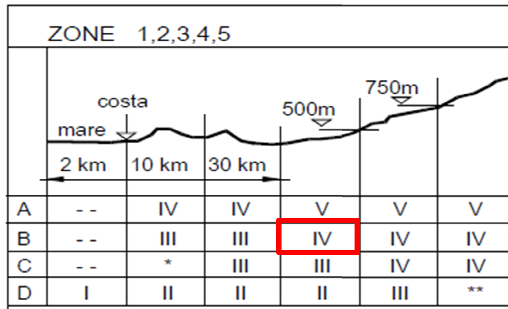


Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

altezza edificio uffici	z	12 [m]
altezza edificio magazzino	z	8 [m]
classe rugosità del terreno (tab. 3.3.III NTC)		B
distanza dal mare		> 30 km
categoria di esposizione		IV
coefficiente di topografia	c_t	1 adim.
coefficiente di esposizione uffici	c_e	1,90841141 adim.
coefficiente di esposizione magazzino	c_e	1,634211973 adim.
coefficiente dinamico (edificio regolare, z < 80 m) secondo il paragrafo 3.3.8 NTC	c_d	1 adim.
coefficiente di forma o areodinamico secondo il paragrafo C3.3.10.1 della circolare 2/2/2009	c_{pe}	variabile adim.

Di seguito è calcolata la pressione statica a seconda dell'elemento considerato.

Copertura ($0^\circ < \alpha < 20^\circ$)

c_{pe} **-0,4** **adim.**

uffici	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	-0,298 [kN/m ²]
magazzino	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	-0,255 [kN/m ²]

Parete sopravento

c_{pe} **0,800** **adim.**

uffici	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	0,596 [kN/m ²]
magazzino	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	0,511 [kN/m ²]

Pareti sottovento o vento radente ($\alpha > 60^\circ$)

c_{pe} **-0,400** **adim.**

uffici	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	-0,298 [kN/m ²]
magazzino	$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$	-0,255 [kN/m ²]

5.5.3. AZIONI DELLA NEVE

AZIONI DELLA NEVE NTC 2008

CARPI

ZONA 1 MEDITERRANEA

26 mslm

tetto piano ad una falda ($0^\circ < \alpha < 30^\circ$)

Tabella 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Il valore di riferimento per la neve al suolo è stato calcolato con il procedimento riportato sotto, secondo le formule del paragrafo 3.4.2 delle NTC.

altezza sul livello del mare	a_s	26	[m]
valore di riferimento per neve al suolo	q_{sk}	1,5	[kN/m ²]
coefficiente di esposizione (normale)	C_E	1	adim.
coefficiente termico	C_t	1	adim.
coefficiente forma copertura ($0^\circ < \alpha < 30^\circ$)	μ_i	0,8	adim.
carico neve sulla copertura	q_s	1,2	[kN/m ²]

Il carico della neve sulla copertura è stato calcolato secondo la formula del paragrafo 3.4.1 delle NTC, con i coefficienti C_E , C_t e μ_i presi rispettivamente dai paragrafi 3.4.3, 3.4.4 e 3.4.5.1 delle NTC.

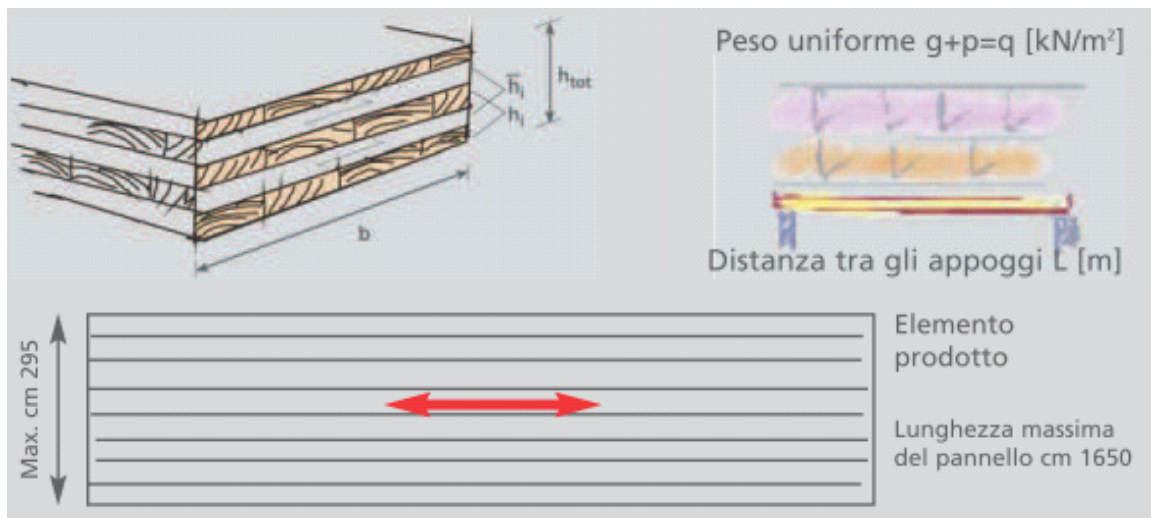
$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t$$

5.6. PROGETTO DEI SOLAI

DIMENSIONAMENTO DEI PANNELLI STRUTTURALI CROSS LAM PER SOLAIO

COMPOSIZIONE, DIMENSIONI E SCHEMA STATICO

Per i solai interpiano abbiamo scelto di usare un pannello strutturale multistrato in legno, comunemente chiamato Xlam (crosslam). Questa scelta comporta una maggiore rapidità di posa e la possibilità di usare un numero inferiore di travi secondarie rispetto alla più classica grecata, oltre ad essere un elemento riciclabile e a basso impatto ambientale.



Il produttore fornisce esaurienti tabelle di predimensionamento, quindi si può scegliere il tipo di pannello da utilizzare conoscendo i carichi al metro quadro per ogni piano e le luci da coprire. In questo caso per ogni piano verrà usato il pannello con lo spessore adatto alla condizione di carico e di luce più sfavorevoli.

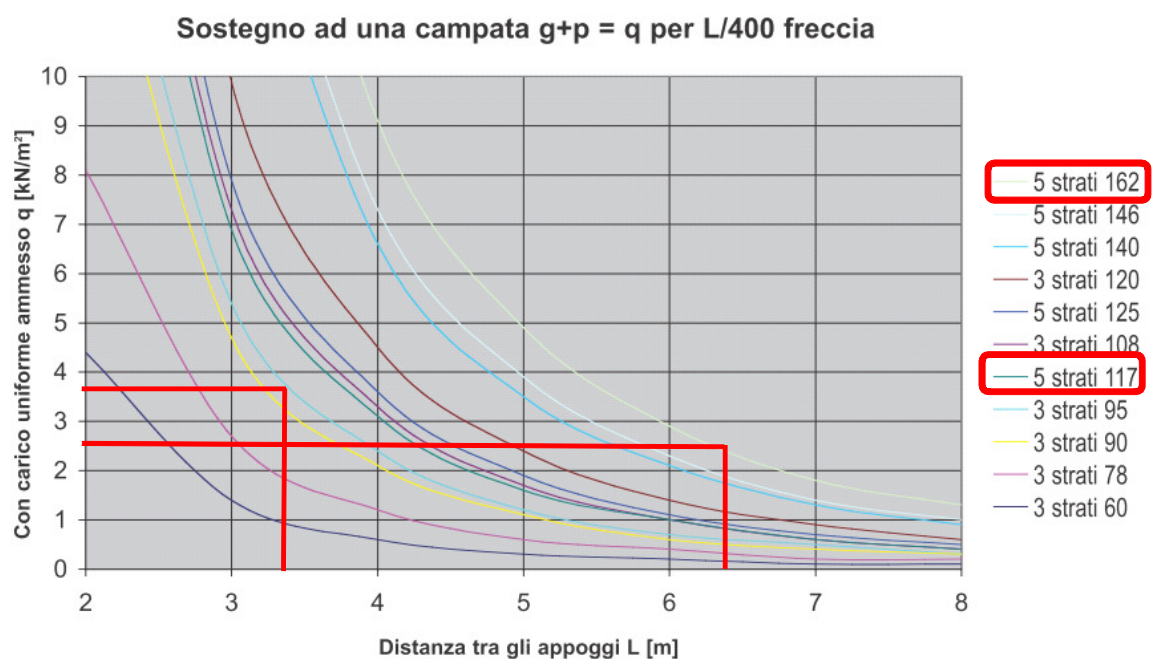


Figura 112 - Tabelle predimensionamento Xlam

CARICHI E LUCI

Carichi totali kN/m ² per piano:	Strutturali	Non strutt.	Partizioni	Variabili	TOT.
UFFICI					
P1	0,60	0,95	0,50	4,00	6,05
P2	0,75	0,95	0,40	2,00	4,1
COPERTURA	0,37	0,15	0,00	1,20	1,72

MAGAZZINO					
P1	0,60	0,95	0,60	2,00	4,15
COPERTURA	0,37	1,05	0,00	2,00	3,42

Luci più estese:	m
UFFICI	
P1	3,40
P2	6,40

MAGAZZINO	
P1	3,20

In caso di deformazioni ammesse più elevate, il valore in tabella può essere calcolato secondo la seguente equazione:

es. $q_{amm} L/300 = q_{zul} L/400 \times \frac{400}{300}$

Dato che la tabella è riferita ad una freccia ammissibile pari a L/400 possiamo ridurre i carichi stimati secondo la formula suggerita dal produttore tenendo come freccia ammissibile L/250:

UFFICI	
P1	3,78 [kN/m ²]
P2	2,56 [kN/m ²]

MAGAZZINO	
P1	2,59 [kN/m ²]

Dall'analisi risulta conveniente usare due tipi di pannello strutturale, ossia il **cinque strati da 117mm e quello da 162mm**. Il 5 strati inoltre garantisce una classe REI 60 rispetto al REI 30 del triplo strato.

DIMENSIONAMENTO DEI PANNELLI STRUTTURALI LIGNUM K PER SOLAIO

Nell'analisi precedente non sono state considerate le coperture perché, essendo delle chiusure, hanno requisiti prestazionali diversi dalle semplici partizioni interne. Per questo si è scelto di usare un altro tipo di pannello in legno strutturale che integri al suo interno anche l'isolamento termico e acustico



Figura 113 - Pannello lignum

Lignum K®- supporti in ABETE LISTELLARE 20 mm - Composizione standard

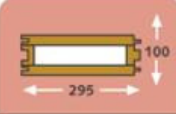
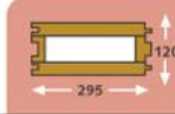
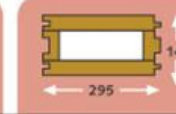
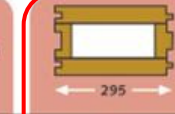
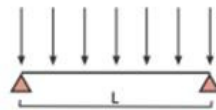
SPESSORE TOTALE NOMINALE (mm)				
Pannello listellare	20	20	20	20
Isolante	60	80	100	120
Pannello listellare	20	20	20	20
Larghezza utile	295	295	295	295
Lunghezza utile	Tutte le lunghezze entro i limiti trasportabili			
Peso Kg/mq	27	30	32	35
Coefficiente d'isolante U teorica (W/mqK) Lana di roccia dens. 50 Kg/mc	0,488	0,32	0,33	0,266
Coefficiente d'isolante U teorica (W/mqK) Fibra di legno dens. 50 Kg/mc	0,534	0,420	0,345	0,293

TABELLA DI PREDIMENSIONAMENTO
Carichi ammissibili uniformemente distribuiti
Freccia elastica < L/200



Carichi uniformemente distribuiti (Kg/mq)	PROFILO (20 - x - 20)			
	100	120	140	160
100	5,80	6,80	7,70	8,50
150	5,20	6,10	6,90	7,70
200	4,80	5,60	6,30	7,10
250	4,50	5,20	5,90	6,60
300	4,20	4,90	5,60	6,30
350	4,00	4,70	5,40	6,00
400	3,90	4,50	5,20	5,80

Figura 114 - Tabelle predimensionamento lignum

In questo caso la scelta è ricaduta sul pannello da 160mm in abete listellare sia per la copertura degli uffici che del magazzino. Nel caso degli uffici, il basso carico a cui è sottoposta la copertura consente di sostenere una luce talmente ampia da non aver bisogno di travi secondarie, mantenendo allo stesso tempo un ottimo spessore di isolante termico. Tutto questo si traduce in risparmio economico ed energetico. Lo stesso discorso vale per il magazzino, che però necessiterà anche di una travatura secondaria viste le luci più ampie.

5.7. PROGETTO DELLA STRUTTURA IN ACCIAIO

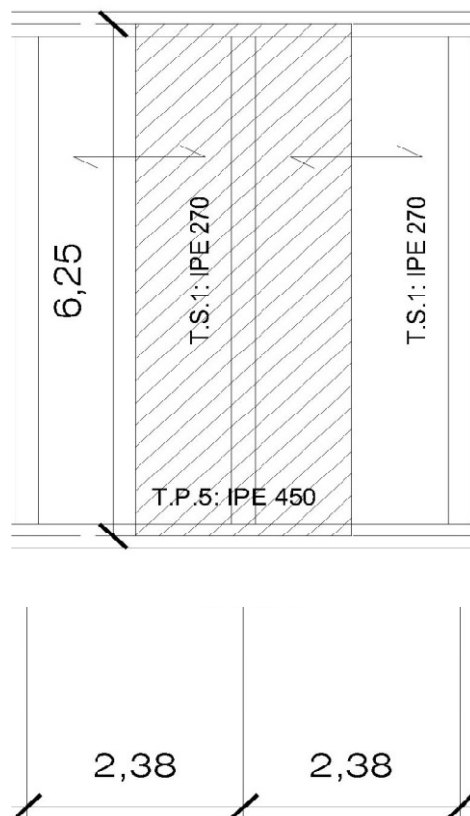
5.7.1 TRAVI SECONDARIE PRIMO PIANO DIREZIONE

Per analizzare le sollecitazioni agenti sulle travi secondarie dobbiamo calcolare il peso globale dei carichi permanenti che agisce su di esse. Per farlo abbiamo bisogno dei pesi strutturali e non strutturali provenienti dalle stratigrafie e della larghezza di influenza della trave, calcolata come nell'immagine sotto:

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 1

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
larghezza di influenza trave (i)	2,38	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	14,875	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	8,925	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	1,848	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95	[kN/m ²]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m ² "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m ²]
peso globale non strut. Su S (G2)	14,13125	[kN]
Peso globale PV (G2)	7,4375	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	21,56875	[kN]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	3,451	[kN/m]



CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA SCALA

luce trave che regge il solaio (l)	6,4	[m]
larghezza di influenza trave (i)	1,69	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	10,816	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	6,4896	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	1,434	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95	[kN/m ²]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m ² "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m ²]
peso partizione soprastante	1,33	[kN/m]
peso globale non strut. Su S (G2)	10,2752	[kN]
Peso globale PV (G2)	13,92	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	24,1952	[kN]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	3,7805	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA LUCERNARIO

luce trave che regge il solaio (l)	6,4	[m]
larghezza di influenza trave (i)	1,45	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	9,28	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	5,568	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	1,29	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95	[kN/m ²]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m ² "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m ²]
peso partizione soprastante	1,33	[kN/m]
peso globale non strut. Su S (G2)	8,816	[kN]
Peso globale PV (G2)	13,152	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	21,968	[kN]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	3,4325	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 2

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
larghezza di influenza trave (i)	3,39	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	21,1875	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	12,7125	[kN]

Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,454	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m2 (G2)	0,95	[kN/m2]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m2 "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m2]
peso globale non strut. Su S (G2)	20,12813	[kN]
Peso globale PV (G2)	10,59375	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	30,72188	[kN]
Peso globale carichi permানে. su l trave (PG2)	4,9155	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 3

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
larghezza di influenza trave (i)	2,9	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	18,125	[m2]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m2 (G1)	0,6	[kN/m2]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	10,875	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,16	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m2 (G2)	0,95	[kN/m2]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m2 "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m2]
peso globale non strut. Su S (G2)	17,21875	[kN]
Peso globale PV (G2)	9,0625	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	26,28125	[kN]
Peso globale carichi permানে. su l trave (PG2)	4,205	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 4

luce trave che regge il solaio (l)	6,4	[m]
larghezza di influenza trave (i)	2,9	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	18,56	[m2]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m2 (G1)	0,6	[kN/m2]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	11,136	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,16	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m2 (G2)	0,95	[kN/m2]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m2 "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m2]
peso globale non strut. Su S (G2)	17,632	[kN]
Peso globale PV (G2)	9,28	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	26,912	[kN]
Peso globale carichi permানে. su l trave (PG2)	4,205	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 5

luce trave che regge il solaio (l)	6,4	[m]
larghezza di influenza trave (i)	3,37	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	21,568	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	12,9408	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,442	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95	[kN/m ²]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m ² "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m ²]
peso globale non strut. Su S (G2)	20,4896	[kN]
Peso globale PV (G2)	10,784	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	31,2736	[kN]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	4,8865	[kN/m]

CARICHI PERMANENTI TRAVE SECONDARIA ZONA 6

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
larghezza di influenza trave (i)	3,25	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	20,3125	[m ²]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,6	[kN/m ²]
peso globale strut. Oriz. Su S (G1)	12,1875	[kN]
Peso proprio della trave	0,42	[kN/m]
peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,37	[kN/m]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95	[kN/m ²]
peso PV peggiore/m (G2)	4,18	[kN/m]
peso PV tra locali/m ² "spalmato" (G2)	0,5	[kN/m ²]
peso globale non strut. Su S (G2)	19,29688	[kN]
Peso globale PV (G2)	10,15625	[kN]

Peso globale carichi permanenti su S (G2)	29,45313	[kN]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	4,7125	[kN/m]

Dobbiamo definire anche a che tipo di carichi variabili verrà sottoposta la struttura che stiamo progettando; per far ciò ci serviremo della tabella sottostante, proveniente dalle NTC 2008. In questo caso prenderemo in considerazione i carichi verticali distribuiti q_k per la categoria C2, pari a 4kN/m^2 . Per gli altri piani vengono cerchiati in blu i carichi variabili che useremo successivamente.

CARICHI VARIABILI q_k RELATIVI ALL'UTILIZZO DELL'EDIFICIO

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
C	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 — —

VARIABILI ZONA 1

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	14,88	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q_k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q_k su S	59,50	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q_k su l trave (Q)	9,52	[kN/m]

VARIABILI ZONA 2

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	21,19	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	84,75	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	13,56	[kN/m]

VARIABILI ZONA 3

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	18,13	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	72,50	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	11,60	[kN/m]

VARIABILI ZONA 4

luce trave che regge il solaio (l)	6,40	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	18,56	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	74,24	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	11,60	[kN/m]

VARIABILI ZONA 5

luce trave che regge il solaio (l)	6,40	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	21,57	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	86,27	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	13,48	[kN/m]

VARIABILI ZONA 6

luce trave che regge il solaio (l)	6,25	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	20,31	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	81,25	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	13,00	[kN/m]

VARIABILI SCALA

luce trave che regge il solaio (l)	6,40	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	10,82	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	43,26	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	6,76	[kN/m]

VARIABILI LUCERNARIO

luce trave che regge il solaio (l)	6,40	[m]
superficie che grava sulla trave (S)	9,28	[m ²]
carichi verticali uniformemente distribuiti/m ² q _k	4,00	[kN/m ²]
carichi verticali unif. distribuiti q _k su S	37,12	[kN]
carichi vert. unif. distribuiti q _k su l trave (Q)	5,80	[kN/m]

Concludiamo con il calcolo delle combinazioni di carico allo stato limite ultimo e di esercizio. Questi valori verranno utilizzati in fase di dimensionamento per assicurarsi che la trave rispetti i limiti di rottura (SLU) e di freccia massima consentita (SLE). A seconda del tipo di carico si utilizzeranno dei coefficienti amplificativi determinati secondo la seguente tabella:

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 1

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

– Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

peso globale strut. Oriz. Su l trave (P_{G1})	1,85	[kN/m]
Peso globale carichi permane. su l trave (P_{G2})	3,45	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti q_k su l trave (Q)	9,52	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (P_U)	21,86	[kN/m]
carico su l trave per SLE (P_E)	14,82	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE ($P_{E\,var}$)	9,52	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA SCALA

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	1,43	[kN/m]
Peso globale carichi permene. su l trave (PG2)	3,78	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	5,8	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	16,23	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	11,01	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	5,8	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA LUCERNARIO

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	1,29	[kN/m]
Peso globale carichi permene. su l trave (PG2)	3,43	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	6,76	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	16,97	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	11,48	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	6,76	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 2

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,45	[kN/m]
Peso globale carichi permene. su l trave (PG2)	4,92	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	13,56	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	30,90	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,93	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,56	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 3

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,16	[kN/m]
Peso globale carichi permene. su l trave (PG2)	4,21	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	11,6	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	26,52	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	17,97	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,6	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 4

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,16	[kN/m]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	4,21	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	11,6	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	26,52	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	17,97	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,6	[kN/m]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 5

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,44	[kN/m]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	4,89	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	13,48	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	30,72	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,81	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,48	[kN/m]

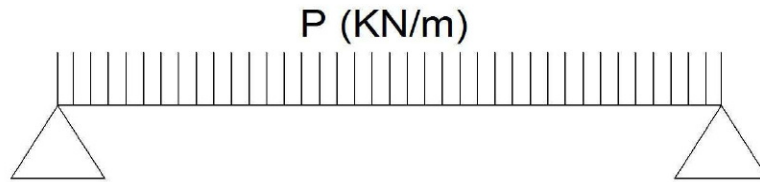
COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - TRAVE SECONDARIA ZONA 6

peso globale strut. Oriz. Su l trave (PG1)	2,37	[kN/m]
Peso globale carichi permane. su l trave (PG2)	4,71	[kN/m]
car. var. vert. unif. distribuiti qk su l trave (Q)	13	[kN/m]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
carico su l trave per SLU (PU)	29,65	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,08	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13	[kN/m]

Passiamo quindi al dimensionamento delle travi: lo schema statico utilizzato è il seguente (appoggio-appoggio con carico distribuito).

SCHEMA STATICO

TRAVE TIPO APPOGGIO-APPOGGIO



IPOTESI:

- 1) travi considerate come putrelle ideali, cioè le ali resistono a flessione e l'anima resiste solo a taglio
- 2) le travi saranno imbullonate solo sull'anima, quindi non sarà trasmesso momento ma solamente taglio fra trave e pilastro o fra trave principale e secondaria
- 3) il carico si considera distribuito perchè il solaio appoggia su tutta la luce della trave (in questo caso non ci sono carichi concentrati)

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 1

CARICHI CHE GRAVANO SULLA TRAVE SECONDARIA

modulo elastico acciaio E_s	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLU (PU)	21,86	[kN/m]
carico su l trave per SLE (PE)	14,82	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	9,52	[kN/m]

FRECCIA AMMISSIBILE

La verifica della freccia ammissibile viene fatta all' SLE. I valori limite nella tabella sottostante sono segnati in rosso, in blu invece quelli usati in altre zone dell'edificio.

L'SLU viene invece considerato per le verifiche del momento e del taglio massimo

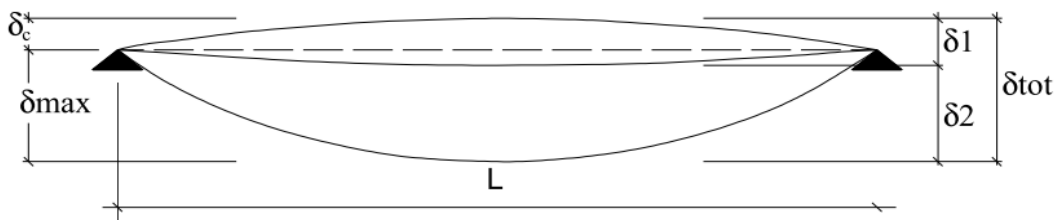


Figura 4.2.1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

- δ_c la monta iniziale della trave,
- δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,
- δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,
- δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$.

Tabella 4.2.X Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

δ_{max}/l ammessa per carichi globali	1/250	[-]
δ_2/l ammessa per carichi variabili	1/300	[-]

Utilizzando il corollario di Mohr posso trovare la freccia δ come:

$$\delta_{max} = (5/384) * (P_E * l^4) / EI$$

SCELTA DEL PROFILO IPE

Per verificare che la freccia di progetto sia minore del valore massimo, invertiamo la formula precedente ricavando così la minima inerzia che la trave deve avere; da profilario si sceglie la prima trave esistente in commercio che abbia un'inerzia superiore al valore ricavato.

$$I = (5/384) * (P_E * l^4) / (E * \delta_{max})$$

modulo elastico acciaio E_s	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	14,27	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	9,52	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	1/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,025	[m]
Momento di inerzia I	5,40098E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	5400,98	[cm ⁴]



Designazione profilo h mm	b mm	sa mm	e mm	Sezione cm ²	Peso kg/m	Valori statici relativi agli assi xx-yy					
						J _x cm ⁴	J _y cm ⁴	W _x cm ³	W _y cm ³	Q _x cm	Q _y cm
<i>IPE 80</i>	46	3,8*	5,2	7,64	6,0	80,1	8,49	20,0	3,69	3,24	1,05
<i>IPE 100</i>	55	4,1	5,7	10,30	8,1	171,0	15,90	34,2	5,79	4,07	1,24
<i>IPE 120</i>	64	4,4	6,3	13,20	10,4	318,0	27,70	53,0	8,65	4,90	1,45
<i>IPE 140</i>	73	4,7	6,9	16,40	12,9	541,0	44,90	77,3	12,30	5,74	1,65
<i>IPE 160</i>	82	5,0	7,4	20,10	15,8	869,0	68,30	109,0	16,70	6,58	1,84
<i>IPE 180</i>	91	5,3	8,0	23,90	18,8	1317,0	101,00	146,0	22,20	7,42	2,05
<i>IPE 200</i>	100	5,6	8,5	28,50	22,4	1943,0	142,00	194,0	28,50	8,26	2,24
<i>IPE 220</i>	110	5,9	9,2	33,40	26,2	2772,0	205,00	252,0	37,30	9,11	2,48
<i>IPE 240</i>	120	6,2	9,8	39,10	30,7	3892,0	284,00	324,0	47,30	9,97	2,69
<i>IPE 270</i>	135	6,6	10,2	45,90	36,1	5790,0	420,00	429,0	62,20	11,20	3,02
<i>IPE 300</i>	150	7,1	10,7	53,80	42,2	8356,0	604,00	557,0	80,50	12,50	3,35
<i>IPE 330</i>	160	7,5	11,5	62,60	49,1	11770,0	788,00	713,0	98,50	13,70	3,55
<i>IPE 360</i>	170	8,0	12,7	72,70	57,1	16270,0	1043,00	904,0	123,00	15,00	3,79
<i>IPE 400</i>	180	8,6	13,5	84,50	66,3	23130,0	1318,00	1160,0	146,00	16,50	3,95
<i>IPE 450</i>	190	9,4	14,6	98,80	77,6	33740,0	1676,00	1500,0	176,00	18,50	4,12
<i>IPE 500</i>	200	10,2	16,0	116,00	90,7	48200,0	2142,00	1930,0	214,00	20,40	4,31
<i>IPE 550</i>	210	11,1	17,2	134,00	106,0	67120,0	2668,00	2440,0	254,00	22,30	4,45
<i>IPE 600</i>	220	12,0	19,0	156,00	122,0	92080,0	3387,00	3070,0	308,00	24,30	4,66

IPE scelta	IPE 270	
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	429,00	[cm ³]
altezza h	270,00	[mm]
larghezza HEB b	135,00	[mm]
spessore anima sa	6,60	[mm]
spessore ali e	10,20	[mm]
Area sezione A	45,90	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ₂ CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (P_E * l^4) / EI$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	9,52	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00005790	[m ⁴]
δ ₂ carichi variabili	0,015556	[m]
δ ₂ ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ ₂ ammissibile carichi variabili	0,020833333	[m]
analisi: δ ₂ carichi < δ ₂ ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA SCALA

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	11,01	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	6,76	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,0256	[m]
Momento di inerzia I	4,47573E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	4475,73	[cm ⁴]

IPE scelta	IPE 270	
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	429,00	[cm ³]
altezza h	270,00	[mm]
larghezza HEB b	135,00	[mm]
spessore anima sa	6,60	[mm]
spessore ali e	10,20	[mm]
Area sezione A	45,90	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	6,76	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00005790	[m ⁴]
δ_2 carichi variabili	0,012145279	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,021333333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA LUCERNARIO

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	11,48	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	5,80	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,0256	[m]
Momento di inerzia I	4,6659E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	4665,90	[cm ⁴]

IPE scelta	IPE 270	
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	429,00	[cm ³]
altezza h	270,00	[mm]

larghezza HEB b	135,00	[mm]
spessore anima sa	6,60	[mm]
spessore ali e	10,20	[mm]
Area sezione A	45,90	[cm2]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m2]
luce trave l	6,4	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	5,8	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	5790,00	[cm4]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00005790	[m4]
δ_2 carichi variabili	0,010420506	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,021333333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 2

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m2]
luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,93	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,56	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,025	[m]
Momento di inerzia I	7,92061E-05	[m4]
Momento di inerzia I	7920,61	[cm4]

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm4]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm3]
altezza h	300,00	[mm]
larghezza HEB b	150,00	[mm]
spessore anima sa	7,10	[mm]
spessore ali e	10,70	[mm]
Area sezione A	53,80	[cm2]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m2]
luce trave l	6,25	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,56	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm4]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00008356	[m4]
δ_2 carichi variabili	0,015353267	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,020833333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 3

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	17,97	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,60	[kN/m]
δ_{\max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{\max} ammessa per carichi globali	0,025	[m]
Momento di inerzia I	6,79871E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	6798,71	[cm ⁴]

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]
altezza h	300,00	[mm]
larghezza HEB b	150,00	[mm]
spessore anima sa	7,10	[mm]
spessore ali e	10,70	[mm]
Area sezione A	53,80	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,6	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00008356	[m ⁴]
δ_2 carichi variabili	0,013134064	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,020833333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 4

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	17,97	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,60	[kN/m]
δ_{\max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{\max} ammessa per carichi globali	0,0256	[m]
Momento di inerzia I	7,30006E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	7300,06	[cm ⁴]

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]
altezza h	300,00	[mm]

larghezza HEB b	150,00	[mm]
spessore anima sa	7,10	[mm]
spessore ali e	10,70	[mm]
Area sezione A	53,80	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	11,6	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00008356	[m ⁴]
δ_2 carichi variabili	0,014441056	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,021333333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 5

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,81	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,48	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,0256	[m]
Momento di inerzia I	8,45552E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	8455,52	[cm ⁴]

IPE scelta	IPE 330	
Momento di inerzia I della IPE scelta	11770,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	713,00	[cm ³]
altezza h	330,00	[mm]
larghezza HEB b	160,00	[mm]
spessore anima sa	7,50	[mm]
spessore ali e	11,50	[mm]
Area sezione A	62,60	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	18,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,4	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,48	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	11770,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00011770	[m ⁴]
δ_2 carichi variabili	0,011913869	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,021333333	[-]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	[m]

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 6

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLE (PE)	20,08	[kN/m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13,00	[kN/m]
δ_{max} ammessa per carichi globali	l/250	[-]
δ_{max} ammessa per carichi globali	0,025	[m]
Momento di inerzia I	7,60007E-05	[m ⁴]
Momento di inerzia I	7600,07	[cm ⁴]
IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]
altezza h	300,00	[mm]
larghezza HEB b	150,00	[mm]
spessore anima sa	7,10	[mm]
spessore ali e	10,70	[mm]
Area sezione A	53,80	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

VERIFICA FRECCIA δ_2 CARICHI VARIABILI

$$\delta_2 = (5/384) * (PE \text{ var} / EI) * l^4$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
luce trave l	6,25	[m]
carichi variabili su l trave per SLE (PE var)	13	[kN/m]
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Momento di inerzia I della IPE scelta	0,00008356	[m ⁴]
δ_2 carichi variabili	0,014719209	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	l/300	[-]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,020833333	[m]
analisi: δ_2 carichi < δ_2 ammissibile	verificata	

CLASSIFICAZIONE SEZIONE

CLASSE DELL'ANIMA

Per poter adottare il metodo plastico descritto nel punto 4.2.3.2 della NTC è necessario che la sezione della struttura sia della classe 1.

4.2.3.1 Classificazione delle sezioni

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale C_{θ} definita come:

$$C_{\theta} = \vartheta_r / \vartheta_y - 1 \tag{4.2.1}$$

essendo ϑ_r e ϑ_y le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento. Si distinguono le seguenti classi di sezioni:

classe 1 quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al § 4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\theta} \geq 3$

classe 2 quando la sezione è in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma con capacità rotazionale limitata. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\theta} \geq 1,5$

classe 3 quando nella sezione le tensioni calcolate nelle fibre estreme compresse possono raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale impedisce lo sviluppo del momento resistente plastico;

classe 4 quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione. In tal caso nel calcolo della resistenza la sezione geometrica effettiva può sostituirsi con una *sezione efficace*.

Le sezioni di classe 1 e 2 si definiscono *compatte*, quelle di classe 3 *moderatamente snelle* e quelle di classe 4 *snelle*. Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione, le seguenti Tab. 4.2.I, 4.2.II e 4.2.III forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni.

La classe di una sezione composta corrisponde al valore di classe più alto tra quelli dei suoi elementi componenti.

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$

2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha-1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67+0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\epsilon_y > f_{yk}/E$

Scelta dell'acciaio per la carpenteria metallica:

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40$ mm		40 mm < $t \leq 80$ mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

acciaio scelto	S355 (Fe510)	
tensione di snervamento f_{yk}	355	[N/mm ²]
tensione a rottura f_{tk}	510	[N/mm ²]

Relazione da rispettare per essere in classe 1:

$$c/t \leq 72\epsilon$$

$$c = \sqrt{235/f_{yk}}$$

altezza h	270,00	[mm]
spessore ali e	10,20	[mm]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]
altezza anima c	219,60	[mm]
spessore anima t	6,60	[mm]
c/t	33,27272727	[-]
tensione di snervamento f_{yk}	355	[N/mm ²]
ϵ	0,813616513	[-]
72 ϵ	58,58038897	[-]

classe della sezione	classe 1
----------------------	----------

CLASSE DELLE ALI

Tabella 4.2.II- Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Piattabande esterne				
		Profilati laminati a caldo		Sezioni saldate		
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10E}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9E}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5				
$c = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Relazione da rispettare per essere in classe 1:

$$c/t \leq 9\epsilon$$

$$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$$

larghezza IPE b	135,00	[mm]
spessore anima s_a	6,60	[mm]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]
lunghezza ala c	49,2	[mm]
spessore ali t	10,20	[mm]
c/t	4,823529412	[-]
tensione di snervamento f_{yk}	355	[N/mm ²]
ϵ	0,813616513	[-]
9 ϵ	26,84934494	[-]
classe della sezione	classe 1	

La trave secondaria in zona 1 rappresenta la situazione peggiore, quindi automaticamente sono verificate anche le altre.

VERIFICA MOMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA INTERPIANO

La verifica del momento ammissibile viene fatta con lo SLU

Flessione monoassiale (retta)

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \tag{4.2.12}$$

dove la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ si valuta tenendo conto della presenza di eventuali fori in zona tesa per collegamenti bullonati o chiodati.

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2:} \tag{4.2.13}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 3:} \tag{4.2.14}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 4:} \tag{4.2.15}$$

MOMENTO FLETTENTE AGENTE M_{Ed}

In coerenza con lo schema statico si può trovare il momento agente:

$$M_{Ed} = (P_U \cdot l^2) / 8$$

luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLU (P_U)	21,15	[kN/m]
momento flettente agente M_{Ed}	103,26	[kN*m]

MOMENTO RESISTENTE $M_{c,Rd}$

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$$

Modulo plastico di resistenza W_{pl}	429,00	[cm ³]
Modulo plastico di resistenza W_{pl}	0,000429	[m ³]
tensione di snervamento f_{yk}	355	[N/mm ²]
tensione di snervamento f_{yk}	355000	[kN/m ²]
coefficiente di sicurezza γ_{M0}	1,05	[-]
momento resistente $M_{c,Rd}$	145,04	[kN*m]

VERIFICA MOMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA INTERPIANO

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \tag{4.2.12}$$

momento flettente agente M_{Ed}	103,26	[kN*m]
momento resistente $M_{c,Rd}$	145,04	[kN*m]
$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	0,71	[-]
analisi	verificato	

La trave secondaria in zona 1 rappresenta la situazione peggiore, quindi automaticamente sono verificate anche le altre.

VERIFICA TAGLIO DELLA TRAVE SECONDARIA INTERPIANO

La verifica del taglio ammissibile viene fatta con all' SLU

Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1, \tag{4.2.17}$$

dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}, \tag{4.2.18}$$

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f; \tag{4.2.19}$$

per profilati a C o ad U caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f; \tag{4.2.20}$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano delle ali si può assumere

$$A_v = A - \sum (h_w t_w); \tag{4.2.21}$$

per profilati a T caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = 0,9 (A - b t_f); \tag{4.2.22}$$

per profili rettangolari cavi "profilati a caldo" di spessore uniforme si può assumere

$$\begin{aligned} A_v &= Ah/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo all'altezza del profilo,} \\ A_v &= Ab/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo alla base del profilo;} \end{aligned} \tag{4.2.23}$$

per sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme:

$$A_v = 2A/\pi; \tag{4.2.24}$$

dove:

A è l'area lorda della sezione del profilo,

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave,

h_w è l'altezza dell'anima,

h è l'altezza delle sezioni cave,

r è il raggio di raccordo tra anima ed ala,

t_f è lo spessore delle ali,

t_w è lo spessore dell'anima.

TAGLIO AGENTE V_{Ed}

In coerenza con lo schema statico si può trovare il taglio agente:

$$V_{Ed} = (P_U \cdot l) / 2$$

luce trave l	6,25	[m]
carico su l trave per SLU (P_U)	21,15	[kN/m]
taglio resistente V_{Ed}	66,09	[kN]

AREA RESISTENTE A TAGLIO A_v

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f; \quad (4.2.19)$$

larghezza IPE b	135,00	[mm]
spessore anima (s_a) t_w	6,60	[mm]
spessore ali (e) t_f	10,20	[mm]
Area lorda sezione A	45,90	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]
larghezza IPE b	0,1350	[m]
spessore anima (s_a) t_w	0,0066	[m]
spessore ali (e) t_f	0,0102	[m]
Area lorda sezione A	0,00459	[m ²]
raggio raccordo ali-anima r	0,015	[m]
Area resistente a taglio A_v	0,0022	[m ²]

TAGLIO RESISTENTE $V_{c,Rd}$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (4.2.18)$$

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Area resistente a taglio A_v	0,0022	[m ²]
tensione di snervamento f_{yk}	355	[N/mm ²]
tensione di snervamento f_{yk}	355000	[kN/m ²]
coefficiente di sicurezza γ_{M0}	1,05	[-]
taglio resistente $V_{c,Rd}$	431,258	[kN]

VERIFICA TAGLIO DELLA TRAVE SECONDARIA INTERPIANO

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1, \quad (4.2.17)$$

taglio resistente V_{Ed}	66,09	[kN]
taglio resistente $V_{c,Rd}$	431,258	[kN]
$V_{Ed}/V_{c,Rd}$	0,15	[-]
analisi	verificato	

La trave secondaria in zona 1 rappresenta la situazione peggiore, quindi automaticamente sono verificate anche le altre.

5.7.2. TRAVI PRINCIPALI PRIMO PIANO DIREZIONE

Per non ripetere i procedimenti utilizzati nello studio delle travi secondarie ci limitiamo a riportare i risultati riguardanti il dimensionamento e le verifiche delle travi primarie in acciaio che costituiscono il primo piano del blocco direzione. Rispetto alle secondarie varia lo schema statico, che stavolta si configura come una trave appoggio-appoggio con un carico concentrato in mezzera o con tre carichi concentrati posti equidistanti uno dall'altro a seconda delle zone. I carichi distribuiti sono rappresentati solamente dal peso proprio della trave o in alcuni casi dalla partizione immediatamente soprastante, che genera delle combinazioni SLE e SLU decisamente minori rispetto alle secondarie, mentre i carichi concentrati corrispondono ai valori di tagli all'appoggio delle secondarie. Nelle zone dove sono presenti i setti di controvento useremo gli stessi profili dimensionati per la zona di pari luce senza setto: in questo modo sicuramente saranno verificate.

Questa volta distingueremo le zone con una lettera, dato che per le travi interne si farà riferimento ai carichi provenienti da due zone diverse alla volta. La trave di bordo, rispetto a quella interna, gode di un'area di influenza minore rispetto alla prima.

SCHEMI STATICI

TRAVE TIPO APPOGGIO-APPOGGIO

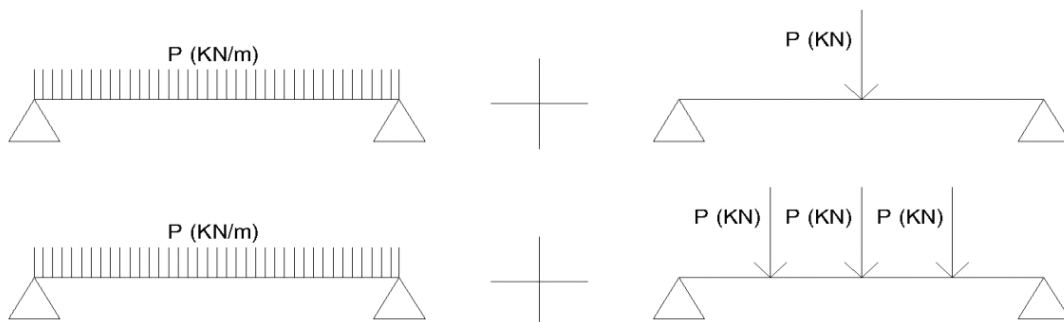


Figura 115 - Schemi statici travi primo piano

IPOTESI:

- 1) travi considerate come putrelle ideali, cioè le ali resistono a flessione e l'anima resiste solo a taglio
- 2) le travi saranno imbullonate solo sull'anima, quindi non sarà trasmesso momento ma solamente taglio fra trave e pilastro o fra trave principale e secondaria
- 3) il carico si considera distribuito perchè il solaio appoggia su tutta la luce della trave (in questo caso non ci sono carichi concentrati)

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA A BORDO

IPE scelta	IPE 450	
Momento di inerzia I della IPE scelta	33740,00	[cm4]
Modulo plastico di resistenza Wpl	1500,00	[cm3]
altezza h	450,00	[mm]
larghezza IPE b	190,00	[mm]
spessore anima sa	9,40	[mm]
spessore ali e	14,60	[mm]
Area sezione A	98,80	[cm2]
raggio raccordo ali-anima r	21,00	[mm]

δ_2 carichi totali	0,0274	[m]
δ_2 carichi variabili	0,0178	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,0317	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA B BORDO

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]
altezza h	300,00	[mm]
larghezza IPE b	150,00	[mm]
spessore anima sa	7,10	[mm]
spessore ali e	10,70	[mm]
Area sezione A	53,80	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	15,00	[mm]

δ_2 carichi totali	0,0269	[m]
δ_2 carichi variabili	0,0157	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,0226	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA C BORDO

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]

δ_2 carichi totali	0,0135	[m]
δ_2 carichi variabili	0,0084	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,0193	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA D BORDO

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]

$\delta 2$ carichi totali	0,0247	[m]
$\delta 2$ carichi variabili	0,0158	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	0,0225	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA E BORDO

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	557,00	[cm ³]

$\delta 2$ carichi totali	0,0210	[m]
$\delta 2$ carichi variabili	0,0132	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	0,0217	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

Le verifiche per la classe dimostrano che siamo sempre in classe 1, mentre le verifiche di momento e taglio vengono sempre rispettate. Si rimanda all'appendice per i dettagli.

Per quanto riguarda le travi interne invece:

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA A INTERNA

IPE scelta	IPE 450	
Momento di inerzia I della IPE scelta	33740,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1500,00	[cm ³]

$\delta 2$ carichi totali	0,0379	[m]
$\delta 2$ carichi variabili	0,0178	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	0,0317	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA B INTERNA

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	557,00	[cm ³]

δ_2 carichi totali	0,0269	[m]
δ_2 carichi variabili	0,0157	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,0226	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA C INTERNA

IPE scelta	IPE 360	
Momento di inerzia I della IPE scelta	16270,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W_{pl}	904,00	[cm ³]
altezza h	360,00	[mm]
larghezza IPE b	170,00	[mm]
spessore anima s_a	8,00	[mm]
spessore ali e	12,70	[mm]
Area sezione A	72,70	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	18,00	[mm]

δ_2 carichi totali	0,0137	[m]
δ_2 carichi variabili	0,0086	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
δ_2 ammissibile carichi variabili	0,0193	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA D INTERNA

IPE scelta	IPE 400	
Momento di inerzia I della IPE scelta	23130,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W_{pl}	1160,00	[cm ³]
altezza h	400,00	[mm]
larghezza IPE b	180,00	[mm]
spessore anima s_a	8,60	[mm]
spessore ali e	13,50	[mm]
Area sezione A	84,50	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	21,00	[mm]

$\delta 2$ carichi totali	0,0176	[m]
$\delta 2$ carichi variabili	0,0114	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	0,0225	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

FRECCIA δ E DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA E INTERNA

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm ³]

$\delta 2$ carichi totali	0,0210	[m]
$\delta 2$ carichi variabili	0,0132	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	1/300	[m]
$\delta 2$ ammissibile carichi variabili	0,0217	[m]
analisi freccia carichi totali	verificata	
analisi freccia carichi variabili	verificata	

Con questi profili tutte le verifiche vengono rispettate. Dobbiamo far notare però che per la zona C e D interne in realtà il profilo scelto al momento del dimensionamento era quello immediatamente precedente (rispettivamente IPE 330 e 360), salvo poi essere cambiato dato che il momento agente risultava maggiore di quello resistente. I grossi carichi concentrati in mezzeria provenienti dalle secondarie della zona 2-5 e 3-4 hanno causato questo effetto.

5.7.3. TRAVI SECONDARIE PRIMO PIANO MAGAZZINO

Come per il blocco direzione, anche il primo piano del magazzino ha una struttura in acciaio. Essa deve sorreggere la passerella, il soppalco e l'appartamento del custode. Anche in questo caso riportiamo solo i risultati del dimensionamento delle travi secondarie dato che lo schema statico non è differente da quello già usato nel blocco direzione. Questa volta i carichi variabili sono di due tipi: 4kN/m² per quanto riguarda passerella e soppalco e 2kN/m² per l'appartamento.

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 1M

IPE scelta	IPE 360	
Momento di inerzia I della IPE scelta	16270,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	904,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 2M

IPE scelta	IPE 360	
Momento di inerzia I della IPE scelta	16270,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza Wpl	904,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 1M - FACCIATA

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm4]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm3]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA ZONA 2M - BORDO

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm4]
Modulo plastico di resistenza Wpl	557,00	[cm3]

Per quanto riguarda invece la trave che regge la passerella è stata progettata secondo lo schema statico di una mensola, sottoposto al carico distribuito proveniente dal solaio e dei carichi variabili. L'inerzia minima è stata calcolata come $I=(1/8)*(P_E*l^4)/(E*\delta_{max})$. Le verifiche di resistenza sono tutte rispettate.

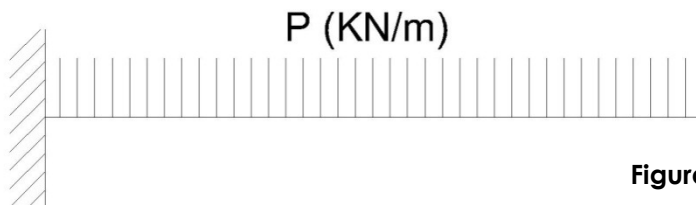


Figura 116 - Schema statico mensola

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE SECONDARIA MENSOLA BALCONATA

IPE scelta	IPE 200	
Momento di inerzia I della IPE scelta	1943,00	[cm4]
Modulo plastico di resistenza Wpl	194,00	[cm3]
altezza h	200,00	[mm]
larghezza HEB b	100,00	[mm]
spessore anima sa	5,60	[mm]
spessore ali e	8,50	[mm]
Area sezione A	28,50	[cm2]
raggio raccordo ali-anima r	12,00	[mm]

5.7.4. TRAVI PRINCIPALI PRIMO PIANO MAGAZZINO

Anche in questo caso, pur mantenendo valide le ipotesi fatte precedentemente, cambia lo schema statico, infatti stavolta ci troviamo nel caso di trave appoggio-appoggio con due o tre carichi concentrati equidistanti uno dall'altro:

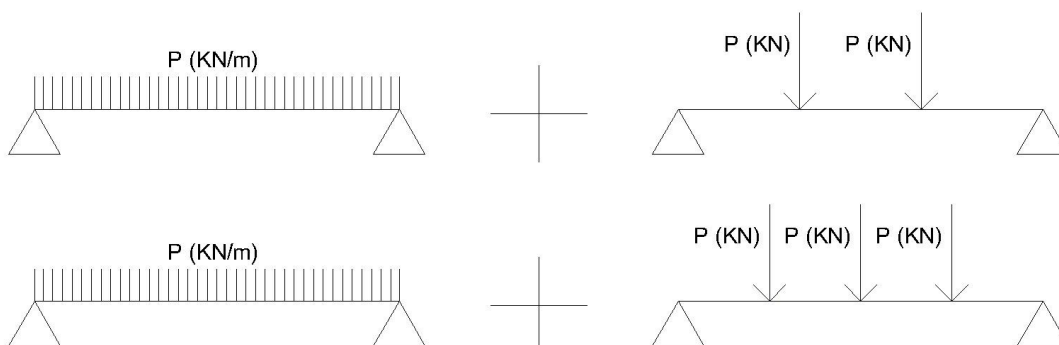


Figura 117 - Schemi statici travi magazzino

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA 1M INTERNA

IPE scelta	IPE 450	
Momento di inerzia I della IPE scelta	33740,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1500,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA 1M BORDO

IPE scelta	IPE 500	
Momento di inerzia I della IPE scelta	48200,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1930,00	[cm ³]
altezza h	500,00	[mm]
larghezza IPE b	200,00	[mm]
spessore anima s _a	10,20	[mm]
spessore ali e	16,00	[mm]
Area sezione A	116,00	[cm ²]
raggio raccordo ali-anima r	21,00	[mm]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA 2M INTERNA

IPE scelta	IPE 450	
Momento di inerzia I della IPE scelta	33740,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1500,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA 2M BORDO

IPE scelta	IPE 500	
Momento di inerzia I della IPE scelta	48200,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1930,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA C2 (VALIDA PER A2 e B2)

IPE scelta	IPE 400	
Momento di inerzia I della IPE scelta	23130,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	1160,00	[cm ³]

DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE PRIMARIA ZONA D2

IPE scelta	IPE 300	
Momento di inerzia I della IPE scelta	8356,00	[cm ⁴]
Modulo plastico di resistenza W _{pl}	557,00	[cm ³]

5.7.5. UNIONI BULLONATE

Il valore del carico agente sulla bullonatura della trave secondaria è pari al taglio agente all'estremità della trave, che si ricava con la formula $V_{ed}=(pU \cdot l)/2$ per una trave in appoggio-appoggio. Per ricavare il taglio agente sul singolo bullone è sufficiente dividere il valore totale per il numero di bulloni utilizzati. Si dimensionerà solo il collegamento per una trave a titolo esemplificativo.

UNIONE BULLONATA IPE 300 - IPE 400 IN ZONA D

CARICHI AGENTI	
taglio agente sulla trave SLU	92,66 [kN]
taglio agente sul bullone	23,16 [kN]

DATI BULLONI E PIASTRA DI COLLEGAMENTO

Il disegno illustra la geometria della bullonatura. Per il calcolo della resistenza a taglio, si adotta il coefficiente di sicurezza delle unioni γ_{M2} , reperibile nella tabella 4.2.XII delle NTC. Le tensioni di snervamento e di rottura del bullone, come anche quella a rottura della piastra, sono valori che dipendono dal tipo di acciaio scelto. La classe dei bulloni da noi utilizzata corrisponde alla 8.8, mentre l'acciaio utilizzato per le piastre è di tipo S355 (Fe 510). L'area filettata, o area resistente netta A_{res} , dipende invece dal diametro scelto. I coefficienti di verifica a rifollamento α e K vengono ricavati secondo il procedimento proposto nel paragrafo 4.2.8.1.1 delle NTC considerando il caso di bulloni di bordo. In questa fase si ipotizzano il diametro del bullone e lo spessore della piastra di collegamento, che si verificano in seguito.

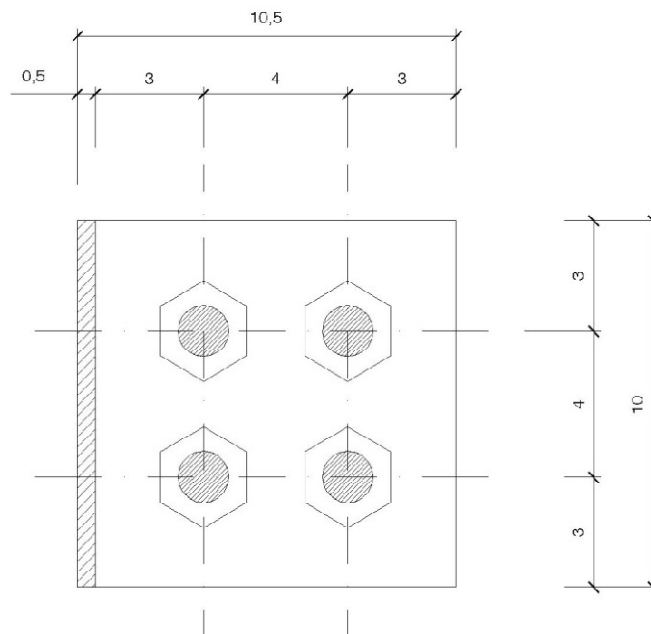


Figura 118 - Schema della bullonatura

numero di bulloni	4,00	-
classe dei bulloni	8.8	-
tensione di snervamento del bullone f_{yb}	649,00	[N/mm ²]
tensione di rottura del bullone f_{tb}	800,00	[N/mm ²]
coefficiente di sicurezza bulloni γ_{M2}	1,25	-
ipotesi diametro bullone d	0,014	[m]
area filettata A_{res}	0,000115	[m ²]
ipotesi spessore piastra collegamento t	0,0040	[m]
resistenza a rottura della piastra f_{tk}	510,00	[N/mm ²]
distanza foro-bordo direzione carico e_1	30,00	[mm]
dist dal bordo perpendicolare al carico e_2	30,00	[mm]
diametro foro d_0	14,00	[mm]
coefficiente verifica rifollamento α	1,00	-
coefficiente verifica rifollamento K	2,50	-

La resistenza a taglio dei bulloni $F_{v,Rd}$ si calcola secondo la formula 4.2.57 delle NTC valida per i bulloni di classe 4.6, 5.6 e 8.8.

SFORZO RESISTENTE A TAGLIO		
sfuerzo resis. a taglio $F_{v,Rd}=(0,6*f_{tb}*A_{res})/\gamma_{M2}$	44,16	[kN]

La resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$ del piatto dell'unione, si calcola con la formula 4.2.61 delle NTC, dove d è il diametro del gambo del bullone, t è lo spessore della piastra e f_{tk} è la resistenza a rottura della piastra.

SFORZO RESISTENTE A RIFOLLAMENTO		
sfuerzo res. a rifollam. $F_{b,Rd}=(K*\alpha*f_{tk}*d*t)/\gamma_{M2}$	57,12	[kN]

CALCOLO FORZA AGENTE		
-----------------------------	--	--

In questo caso i bulloni sono quattro. La forza totale si calcola con il teorema di Pitagora generalizzato; l'angolo tra il vettore e l'orizzontale, pari a 45° è chiamato β . Per una migliore chiarezza si allega la seguente immagine.

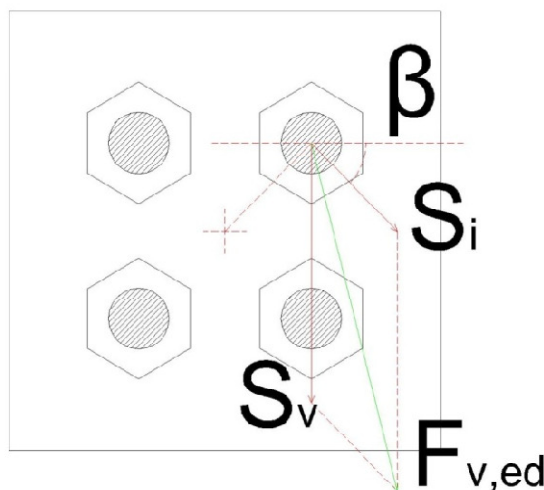


Figura 119 - Forze agenti sulla bullonatura

ipotesi eccentricità e	0,055	[m]
distanza baricentro della bullonatura x	20,00	[mm]
distanza baricentro della bullonatura y	20,00	[mm]
distanza dal baricentro r	28,28	[mm]
momento polare d'inerzia $J_p = \sum r_i^2$	0,003200	[m ²]
momento agente $M_a = V_{ed} * e$	1,27	[kNm]
forza radiale $S_i = (M/J_p) * r_i$	11,26079	[kN]
angolo compreso tra S_i e l'orizzontale β	0,79	[rad]
forza ris. $F_{V,ed} = (S_v^2 + S_i^2 - 2 * S_v * S_i * \cos\beta)^{0,5}$	32,12793	[kN]

VERIFICA A TAGLIO

La verifica a taglio consiste nel verificare che il rapporto tra forza agente e forza resistente sia minore o uguale a uno. Se questa condizione non fosse verificata ci sarebbe il rischio di rottura della sezione resistente del bullone.

verifica a taglio della sezione $F_{V,ed} / F_{V,Rd} \leq 1$	0,73	verificata
--	------	------------

VERIFICA A RIFOLLAMENTO

Come per la verifica a taglio, nella verifica a rifollamento ci si assicura che il rapporto tra forza agente e forza resistente a rifollamento sia minore o uguale a uno. Se non fosse verificata questa condizione ci sarebbe il rischio che il foro si allarghi e si deformi impedendo al bullone di congiungere perfettamente le parti.

verifica della sezione $F_{V,ed} / F_{b,Rd} \leq 1$	0,56	verificata
---	------	------------

5.7.6. UNIONI SALDATE

Come per l'unione bullonata abbiamo deciso di riportare solo una saldatura come esempio: Il seguente caso si riferisce ad un'unione saldata tra trave secondaria e pilastro, mediante un elemento ad "L" imbullonato alla trave e saldato al pilastro. Il procedimento è lo stesso per un collegamento trave-trave eseguito nello stesso modo.

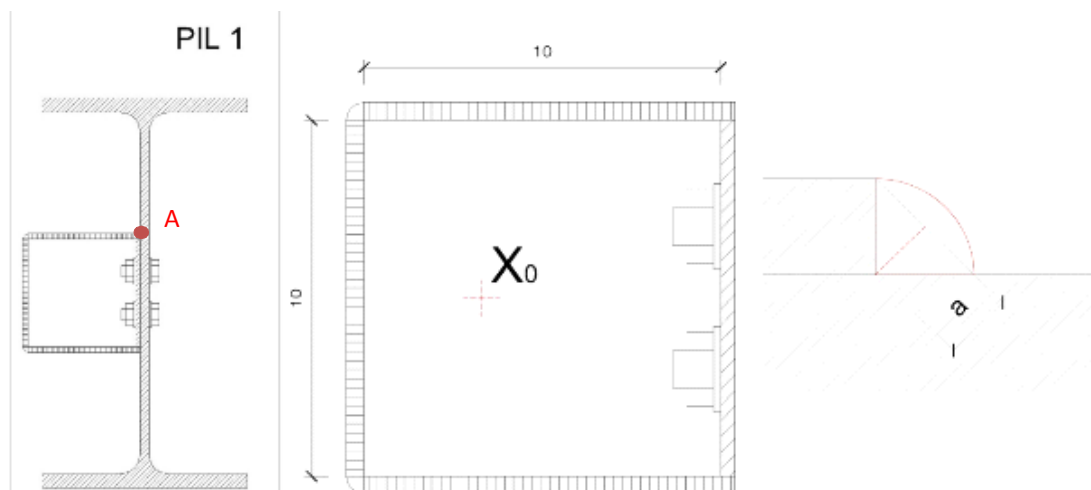
UNIONE SALDATA IPE 400 - PIL1 ZONA D

Figura 120 - Aggancio trave pilastro

DATI SALDATURA

spessore piastra collegamento	t	0,005	[m]
ipotesi spessore sezione di gola	a	0,005	[m]
lunghezza 1	b	0,100	[m]
lunghezza 2	c	0,100	[m]
lunghezza 3	e=c+t	0,105	[m]
Resistenza a rottura del più debole degli elementi collegati	f_{tk}	510000	[kPa]
Coefficiente acciaio 355	β	0,90	-
Coefficiente di sicurezza	γ_{M2}	1,25	-

Per quanto riguarda le unioni saldate, si è preferito adottare saldature a cordoni d'angolo. Come riportato dalle NTC, la resistenza di progetto, per unità di lunghezza, si determina con riferimento all'altezza di gola "a", cioè all'altezza del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone. Allo stato limite ultimo le azioni di calcolo sui cordoni d'angolo si distribuiscono uniformemente sulla sezione di gola (definita al § 4.2.8.2.3). Il parametro "a", viene ipotizzato, ed in base a questo e alle lunghezze di saldatura, anch'esse ipotizzate, vengono determinate l'area di saldatura (A) ed il momento statico (S), quindi il baricentro della saldatura stessa (X₀).

area totale saldatura	$A = a*b + a*c*2$	1,500E-03	[m ²]
momento statico rispetto a O-O	$S = 2ac*(c/2)$	5,000E-05	[m ³]
posizione baricentro della saldatura	$X_0 = S/A$	0,033	[m]

Determinato il baricentro X₀, si possono definire i momenti di inerzia rispetto ai due assi principali, ottenendo poi dalla loro somma il momento d'inerzia torsionale, necessario per il calcolo degli sforzi orizzontali e verticali dovuti al momento M_{ed}.

mom. inerzia	$J_x = 2ac*(b/2)^2 + ab^3/12$	2,917E-06	[m ⁴]
mom. Inerzia	$J_y = 2ac*(c^2/12 + (c/2 - x_0)^2) + ab*x_0^2$	1,667E-06	[m ⁴]
momento di inerzia polare-torsionale	J_p	4,583E-06	[m ⁴]
braccio momento agente	$d = e - x_0$	0,072	[m]

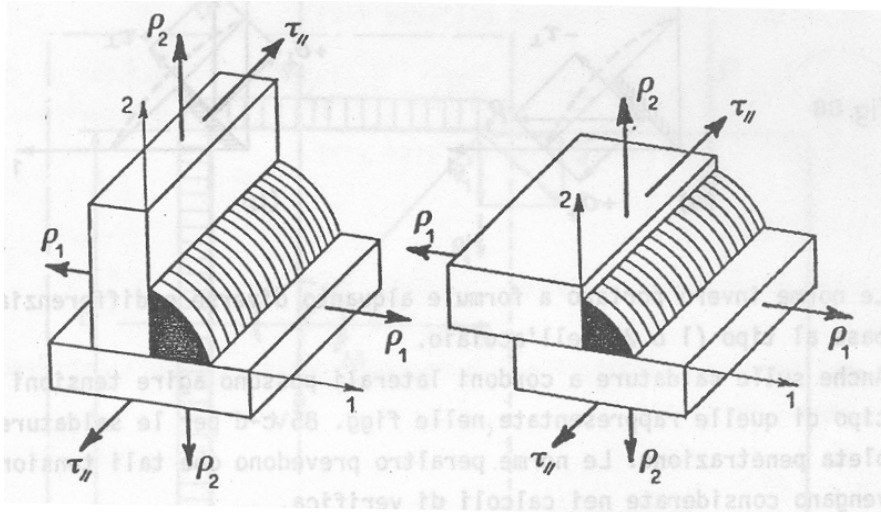
SOLLECITAZIONI SULLA SALDATURA NEL PUNTO "A"

Le sollecitazioni che la saldatura deve sostenere sono quelle dovute al taglio V_{ed} applicato nel baricentro della sezione della trave e quelle dovute al momento M_{ed}, che si genera per l'azione del taglio ad una certa distanza d dal baricentro della saldatura X₀.

taglio agente sulla trave SLU	$V_{ed} = (p_U * l) / 2$	99,01	[kN]
momento	$M_{ed} = V_{ed} * d$	7,096	[kNm]

Queste due sollecitazioni vanno poi considerate lungo i due assi principali, quello verticale 1 e quello orizzontale 2. Esaminando le azioni agenti nel punto di massima sollecitazione A, che appartiene al tratto orizzontale, otteniamo che la componente

verticale V_{ed} genera una distribuzione costante di tensioni verticali lungo il tratto orizzontale mentre la componente torsionale M_{ed} genera uno sforzo ρ_1'' in direzione 1. La componente $\tau_{//}''$ è nulla perché il punto A di massima sollecitazione appartiene al tratto orizzontale.



sforzo tratto orizzontale dovuto a V_{ed}	ρ_1'	66005,671 kPa
sforzo tratto verticale dovuto a V_{ed}	$\tau_{//}'$	66005,671 kPa
sforzo tratto orizzontale dovuto a M_{ed}	ρ_1''	103208,868 kPa
sforzo tratto verticale dovuto a M_{ed}	$\tau_{//}''$	77406,651 kPa

Azione agente totale orizzontale	$\rho_1 = \rho_1' + \rho_1''$	169214,539 kPa
Azione agente totale verticale	$\tau_{//} = \tau_{//}' + \tau_{//}''$	143412,322 kPa

Le tensioni ρ_1 e ρ_2 sono inclinate rispetto alla sezione di gola e possono essere quindi scomposte in due componenti: una normale ed una parallela ad "a", indicate rispettivamente σ_{\perp} e τ_{\perp} . In questo caso $\rho_2 = 0$ in quanto non ci sono azioni assiali sulla trave.

Proiezione sulla \perp sezione di gola 1	σ_{\perp}	119652,748 kPa
Proiezione sulla \perp sezione di gola 2	τ_{\perp}	-119652,748 kPa

E' ora possibile, attraverso il criterio di Von Mises, determinare l'azione agente, che, confrontata con la resistenza a rottura, permette di verificare la saldatura.

Criterio di Von Mises	$A_{ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)}$	344917,965 kPa
-----------------------	---	----------------

RESISTENZA A ROTTURA

La resistenza a rottura si ottiene dal rapporto tra la resistenza a rottura f_{tk} del più debole degli elementi collegati, e il prodotto tra un coefficiente β caratteristico dell'acciaio utilizzato e il coefficiente di sicurezza γ_{M2} indicato in Tab. 4.2.XII delle NTC.

Resistenza a rottura	$R_{rd} = f_{tk} / (\beta * \gamma_{M2})$	453333,333 kPa
----------------------	---	----------------

VERIFICA DELLA SALDATURA

La saldatura risulta verificata quando si ottiene un rapporto tra azione agente (A_{ed}) e resistenza a rottura (R_{rd}) minore di 1.

Verifica	$A_{ed}/R_{rd} \leq 1$	0,761	verificata
----------	------------------------	-------	------------

5.8. PROGETTO DELLA STRUTTURA IN LEGNO

5.8.1. INTRODUZIONE

I materiali e le tecnologie impiegati nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro influiscono costantemente sulla salute delle persone che li frequentano. Quelli solitamente adottati presentano spesso problemi di emissioni tossiche o nocive in fase di produzione, di posa in opera, di uso e di smaltimento finale. La sensibilizzazione ai problemi ambientali, l'attenzione al contenimento dei consumi energetici ed un rinnovato apprezzamento delle qualità percettive dei materiali tradizionali hanno portato nel campo delle costruzioni alla riscoperta del legno come materia prima rinnovabile dalle elevate caratteristiche fisico-meccaniche. Il legno, materia prima ricca di calore fisico e di vita latente, mantiene queste prerogative qualunque sia la lavorazione ed il livello di finitura.

Nel corso delle sue trasformazioni da materia "viva" a materiale da costruzione non vengono emesse grosse quantità di gas tossici né rifiuti nocivi per l'ambiente. L'energia necessaria per ottenere il prodotto finito, circa 300 kWh/t, è molto modesta rispetto a quella occorrente alla lavorazione di altri materiali utilizzati in edilizia, basti pensare ai 72.500kWh/t necessari per l'alluminio ed ai 3.500kWh/t per l'acciaio. Infine la struttura in legno può essere facilmente demolita e i singoli elementi che la compongono possono essere riutilizzati sia in edilizia che in altri settori, a differenza di quello che succede coi calcestruzzi, i cementi e altre sostanze chimiche.

I pregi del legno sono numerosi e talvolta esclusivi, tali comunque da farne una valida alternativa ad altri materiali da costruzione per certi usi ed entro determinati limiti:

- Alta resistenza alla compressione ed alla trazione
- Leggerezza e facilità di lavorazione
- Inattaccabilità da parte dell'aggressione chimica ed ambientale
- Ottime prestazioni termiche ed acustiche
- Buon comportamento al fuoco
- Insensibilità agli sbalzi di temperatura
- Validità per l'impiego in zona sismica

Spiegati i motivi della nostra scelta, proseguiamo con il dimensionamento degli elementi.

5.8.2. TRAVI PRINCIPALI SECONDO PIANO DIREZIONE

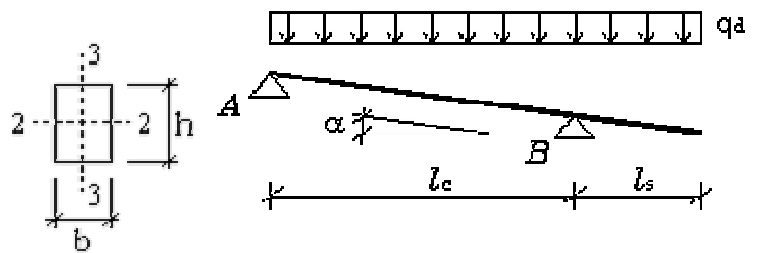
Norme: NT 14-01-2008 e EC5

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 1 BORDO PIANO 2

LEGNO LAMELLARE GL 28 h ▼

Sezione			Proprietà del legno secondo le normative europee			
b =	280	mm	EN1194-2000 (lamellare), EN338-2003 (massiccio).			
h =	560	mm	Valori caratteristici di rigidezza			
Geometria			mod. elast. parall. medio	$E_{0,mean}$	12600	MPa
$\alpha_{trave} =$	0	°	mod. elast. parall. caratt.	$E_{0,05}$	10200	MPa
$l_{campata} =$	9,5	m	mod. elast. ortog. medio	$E_{90,mean}$	420	MPa
$l_{sbalzo} =$	0	m	modulo di taglio medio	G_{mean}	780	MPa
* Validità: $l_{sbalzo} < (l_{campata}) / 2$			Valori caratteristici di resistenza			
Peso proprio del legno	4,5	kN/m ³	flessione	$f_{m,k}$	28	MPa
q_{G1k} (peso pr. trave) =	0,7056	kN/m	traz. parallela alle fibre	$f_{t,0,k}$	19,5	MPa
Carichi agenti per metro quadro			traz. ortog. alle fibre	$f_{t,90,k}$	0,45	MPa
Larghezza d'influenza L =	3,13	m	compr. parallela alle fibre	$f_{c,0,k}$	26,5	MPa
Area d'influenza $A_i =$	29,735	m ²	compr. ortog. alle fibre	$f_{c,90,k}$	3	MPa
q_{G1k} (peso strutt. del solaio) =	0,6	kN/m ²	taglio e torsione	$f_{v,k}$	3,2	MPa
q_{G2k} (carico permanente) =	1	kN/m ²	Lunghezza efficace			
q_{Vk} (carico variabile) =	2	kN/m ²	$l_{3,eff} = 0,9 \cdot l_{campata}$	8,55	m	
q_{Vkn} (carico variabile neve) =	0	kN/m ²	$l_{3,eff} = 0,5 \cdot l_{sbalzo} =$	0	m	
Classe di servizio:	1		perm: $q_{Gk} = ((q_{G2k} + q_{G1k}) \cdot A_i + q_{G1k}) \cdot \cos\alpha$	5,7136	kN/m	
Carichi accidentali:	Uffici aperti al pubblico ▼		var: $q_{Vk} = ((q_{Vk} + q_{Vkn}) \cdot A_i) \cdot \cos^2\alpha$	6,26	kN/m	
			$\cos\alpha =$	1		
l_{app}	250	mm				

Valori statici		
$A = b \cdot h =$	156800	mm ²
$b_{eff} = k_{cb}$	187,6	mm
$J_{xx} = bh^3/12 =$	4097706667	mm ⁴
$J_{yy} = hb^3/12 =$	1024426667	mm ⁴
$W_{xx} = bh^2/6 =$	14634666,67	mm ³
$W_{yy} = hb^2/6 =$	7317333,333	mm ³
$l_{totale} =$	9,5	m



Combinazione di carico per SLU e SLE

Da vedere sui fogli di calcolo dei carichi

SLU	18,80955	kN/m
SLE	12,9087	kN/m

Corrisponde al carico di progetto per le verifiche di resistenza = q_d
 Corrisponde al carico di progetto per le verifiche di deformazione

TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI DELLE VERIFICHE SULLA TRAVE

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione	
	se $\leq 1 \rightarrow ok$		se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,72	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,43
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,72	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,94
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,55		
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,36		

Esito: **OK!**

Verifica di resistenza al fuoco	Le verifiche di resistenza risultano rispettate per	R 60
--	---	-------------

AZIONI AGENTI

$R_{\text{appoggio B}} = q_d l_{\text{tot}}^2 / (2l_{\text{camp}})$	89,3453625	Kn	$V_{\text{B campata}} = (R_{\text{app B}} - q_d l_{\text{sbalzo}}) (\cos \alpha_{\text{tr}})$	89,3453625	Kn
$R_{\text{appoggio A}} = q_d l_{\text{totale}} - R_{\text{appoggio B}}$	89,3453625	Kn	$M_{\text{appoggio B}} = q_d l_{\text{sbalzo}}^2 / 2$	0	Kn
$V_A = (R_{\text{appoggio A}}) (\cos \alpha_{\text{tr}})$	89,3453625	Kn	$M_{\text{campata}} = V_A s_0 - q_d \cos^2 \alpha_{\text{tr}} s_0^2 / 2$	212,1952359	Kn
$V_{\text{B sbalzo}} = (q_d l_{\text{sbalzo}}) (\cos \alpha_{\text{tr}})$	0	Kn	$\sigma_0 = V_A / (q_d \cos^2 \alpha_{\text{tr}})$	4,75	Kn

Sollecitazioni massime (azioni assiali trascurate)			Tensioni (taglio, comp. // alle fibre, comp. perp. alle fibre)		
$V =$	89,35	kN	$t_d = 1,5 V_3 / (b_{\text{eff}}^* h) =$	1,28	MPa
$M =$	212,20	kNm	$\sigma_{m,y,d} = M / W_{xx} =$	14,50	MPa
$N =$			$\sigma_{c,90,d} = V_3 / (b l_{\text{app}}) =$	1,28	MPa

γ_M Coefficiente parziale per le proprietà dei materiali, che tiene anche conto delle incertezze sul modello e delle variazioni dimensionali

Coefficienti parziali γ_M raccomandati per le proprietà e le resistenze dei materiali

Combinazioni fondamentali:	
Legno massiccio	1,3
Legno lamellare incollato	1,25
LVL, compensato, OSB,	1,2
Pannelli di particelle	1,3
Pannelli di fibre, alta densità	1,3
Pannelli di fibre, media densità	1,3
Pannelli di fibre, MDF	1,3
Pannelli di fibre, bassa densità	1,3
Connessioni	1,3
Mezzi di unione a piastra metallica punzonata	1,25
Combinazioni accidentali	
	1,0

k_{cr} Coefficiente di fessurazione per la resistenza a taglio

Il valore raccomandato per k_{cr} è dato da:

$k_{cr} = 0,67$ per legno massiccio

$k_{cr} = 0,67$ per legno laminare incollato

$k_{cr} = 1,0$ per altri prodotti a base di legno in conformità alla EN 13986 e alla EN 14374.

k_{mod} Coefficiente di correzione per la durata del carico e per l'umidità

Valori di k_{mod}

Materiale	Norma	Classe di Servizio	Classe di durata del carico				
			Azione permanente	Azione lunga durata	Azione media durata	Azione breve durata	Azione istantanea
Legno massiccio	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Legno lamellare incollato	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Coefficienti Scelti	
$k_{mod} =$	0,90
$\gamma_M =$	1,25
$k_{mod} / \gamma_M =$	0,72
$k_{cr} =$	0,67

Resistenze di progetto

(1)P Il valore di progetto R_d di una resistenza (capacità portante) deve essere calcolato come:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.17)$$

dove:

R_k è il valore caratteristico della capacità portante;

γ_M è il coefficiente parziale per una proprietà materiale,

k_{mod} è il coefficiente di correzione che tiene conto degli effetti della durata del carico e dell'umidità.

Valori di k_{mod} sono forniti nel punto 3.1.3.

Per i coefficienti parziali, vedere punto 2.4.1.

Resistenze di calcolo	
$f_{m,d} = f_{m,k} k_{mod} / \gamma_M =$	20,16 MPa
$f_{v,d} = f_{v,k} k_{mod} / \gamma_M =$	2,30 MPa
$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} k_{mod} / \gamma_M =$	2,16 MPa

Resistenza a flessione

Resistenza a taglio e torsione

Resistenza a compressione ortogonale alle fibre

Calcolo del coefficiente di sbandamento laterale k_{crit}

Per travi che presentano uno scostamento laterale iniziale, rispetto alla rettilinearità, che rientra nei limiti definiti nella Sezione 10, k_{crit} può essere determinato tramite l'espressione (6.34)

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{per } (0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4) \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (6.34)$$

Si raccomanda che la snellezza relativa per la flessione sia assunta come:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.30)$$

dove $\sigma_{m,crit}$ è la tensione critica a flessione calcolata secondo la teoria classica della stabilità, adottando valori di 5-percentile per la rigidità.

Lunghezza efficace espressa in rapporto alla luce

Tipo di trave	Tipo di carico	l_{eff}/l
Semplicemente appoggiata	Momento costante	1,0
	Carico uniformemente distribuito	0,9
	Forza concentrata in mezzera	0,8
A mensola	Carico uniformemente distribuito	0,5
	Forza concentrata all'estremità libera	0,8

$k_{crit} = (\text{formule in funzione di } \lambda_{rel,m})$	1,00	-	secondo (4.4.12) di NT 14/01/2008
$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} =$	0,46	-	snellezza a flessione
$\sigma_{m,crit} = (\pi b^2 / (l_{3,eff} h)) E_{0,05} (G_{mean} / E_{mean})^{0,5} =$	130,55	MPa	tensione di flessione critica
$l_{3,eff} = l * 0,9$	8,55	m	lunghezza efficace

$k_{c,90}$ è un coefficiente che tiene conto della configurazione di carico, della possibilità di rottura per spacco, nonché del grado di deformazione a compressione.

Calcolo del coefficiente di compressione ortogonale $k_{c,90}$

$$k_{c,90} = (2,38 - l_{app} / 250)(1 + h / (12 l_{app})) \leq 4 \quad 1,64 \quad \text{calcolato con le formule in 6.1.5 (3) EC5}$$

VERIFICA DI RESISTENZA A FLESSIONE

(1)P Devono essere soddisfatte le seguenti espressioni:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

dove:

$\sigma_{m,y,d}$ e $\sigma_{m,z,d}$ sono le tensioni di progetto a flessione intorno agli assi principali come mostrato in figura 6.1;

$f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze a flessione di progetto.

Il coefficiente k_m tiene conto della ridistribuzione delle tensioni e dell'effetto delle non omogeneità del materiale in una sezione trasversale.

(2) Si raccomanda che il valore del coefficiente k_m sia assunto come segue:

Per legno massiccio, legno lamellare incollato e LVL:

per sezioni rettangolari: $k_m = 0,7$

per altre sezioni trasversali: $k_m = 1,0$

Per altri prodotti strutturali a base di legno, per tutte le sezioni trasversali: $k_m = 1,0$

(3)P Deve essere eseguita anche una verifica della condizione di instabilità (vedere punto 6.3).

Nel nostro caso non ci sono tensioni intorno all'asse Z, per cui la verifica si riduce al più sfavorevole dei due casi, ossia:

$$\eta = \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad \eta = 0,72 \leq 1$$

VERIFICA DI STABILITA' (SVERGOLAMENTO)

- (3) Nel caso in cui esista solo un momento M_y intorno all'asse forte y , si raccomanda che le tensioni soddisfino la seguente espressione:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

dove:

$\sigma_{m,d}$ è la tensione a flessione di progetto;

$f_{m,d}$ è la resistenza a flessione di progetto;

k_{crit} è un coefficiente che tiene conto della resistenza a flessione ridotta dovuta allo sbandamento laterale.

$$\eta = \sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,y,d}) \leq 1$$

$$\eta = 0,72 \leq 1$$

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO**Taglio**

- (1)P Per taglio con una componente della tensione parallela alla fibratura, vedere figura 6.5 a), così come per taglio con entrambe le componenti della tensione perpendicolari alla direzione della fibratura, vedere figura 6.5 b), deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

dove:

τ_d è la tensione di progetto a taglio;

$f_{v,d}$ è la resistenza di progetto a taglio per la condizione effettiva.

La resistenza a taglio per rotolamento (rolling shear) è approssimativamente uguale al doppio della resistenza a trazione in direzione perpendicolare alla fibratura.

Per la verifica della resistenza a taglio di elementi sottoposti a flessione, si raccomanda che l'influenza delle fessurazioni sia tenuta in conto utilizzando una larghezza efficace dell'elemento dato da:

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (6.13a)$$

dove b è la larghezza della sezione pertinente dell'elemento.

Il valore raccomandato per k_{cr} è dato da:

$k_{cr} = 0,67$ per legno massiccio

$k_{cr} = 0,67$ per legno laminare incollato

$k_{cr} = 1,0$ per altri prodotti a base di legno in conformità alla EN 13986 e alla EN 14374.

Informazioni sulla scelta nazionale si possono trovare nell'appendice nazionale.

$$\eta = \tau_d / f_{v,d} \leq 1$$

$$\eta = 0,55 \leq 1$$

VERIFICA DI COMPRESSIONE ALL'APPOGGIO

- (1)P Deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

con

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.4)$$

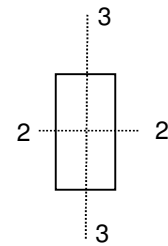
$$\eta = \sigma_{c,90,d} / (k_{c,90,d} f_{c,90,d}) \leq 1$$

$$\eta = 0,36 \leq 1$$

VERIFICA DELLA FRECCIA DI INFLESSIONE

Ipotesi di controfreccia assente: $u_0 = 0$ mm

Componenti della freccia di inflessione:	
U_{per}	freccia dovuta ai carichi permanenti
U_{var}	freccia dovuta ai carichi variabili
$U_{tot} = U_{per} + U_{var}$	freccia totale



Limiti normativi

Campata:	$U_{var,lim} \leq l_c /$	300	31,67	mm
	$U_{tot,lim} \leq l_c /$	250	38,00	mm
$l_{campata} =$		9,5		m
Sbalzo:	$U_{var,lim} \leq l_c /$	300	0,00	mm
	$U_{tot,lim} \leq l_c /$	250	0,00	mm
$l_{sbalzo} =$		0		m

Parametri:

$G_{mean} =$	780	MPa
$E_{mean} =$	12600	MPa
$q_{Gk} =$	5,7136	kN/m
$q_{Vk} =$	6,26	kN/m
$l_{campata} =$	9,5	m
$l_{sbalzo} =$	0	m
$a_{trave} =$	0	°

k_{def} è un coefficiente per la valutazione della deformazione viscoelastica in funzione della pertinente classe di servizio;

Valori di k_{def} secondo prospetto 3.2 di EC5:	
Classe di servizio della struttura:	1,00
$k_{def} =$	0,60

Verifica della freccia istantanea u_{var} per i soli carichi variabili

$q = q_{Vk} =$	6,26	kN/m
----------------	------	------

Campata

$U_{var} = q l_{camp}^2 (5 l_{camp}^2 - 12 l_{sb}^2) (1 / \cos \alpha_{tr})^2 / (384 E_{0,mean} J_{22}) + 1,2 q l_{camp}^2 / (8 G_{mean} A) =$	13,55	mm
$\eta = U_{var} / U_{var,lim}$	$\eta = 0,43$	≤ 1

Sbalzo (deformata a taglio ignorata)

$U_{var} = [q l_{camp}^3 l_{sb} - q l_{sb}^3 (4 l_{camp} + 3 l_{sb})] (1 / \cos \alpha_{tr})^2 / (24 E_{0,mean} J_{22}) =$	0,00	mm
$\eta = U_{var} / U_{var,lim}$		

Verifica della freccia totale finale u_{tot}

$q = q_{Gk} \cdot (1 + k_{def}) + q_{Vk} \cdot (1 + \Psi_{2i} \cdot k_{def}) =$	16,53	kN/m
---	-------	------

Campata

$U_{tot} = q l_{camp}^2 (5 l_{camp}^2 - 12 l_{sb}^2) (1 / \cos \alpha_{tr})^2 / (384 E_{0,mean} J_{22}) + 1,2 q l_{camp}^2 / (8 G_{mean} A) =$	35,78	mm
$\eta = U_{tot} / U_{tot,lim}$	$\eta = 0,94$	≤ 1

Sbalzo (deformata a taglio ignorata)

$U_{tot} = [q l_{camp}^3 l_{sb} - q l_{sb}^3 (4 l_{camp} + 3 l_{sb})] (1 / \cos \alpha_{tr})^2 / (24 E_{0,mean} J_{22}) =$	0,00	mm
$\eta = U_{tot} / U_{tot,lim}$		

VERIFICHE IN CONDIZIONI DI INCENDIO Normativa: **NT 14/01/2008 con EC5 :1-2**

Sezione integra

b =	280	mm
h =	560	mm

Resistenza al fuoco richiesta:	R	60
---------------------------------------	----------	-----------

Metodo della sezione efficace

Tasso di carbonizzazione $\beta_0 =$	0,7	mm/min	LEGNO LAMELLARE GL 28 h
Tempo di resistenza richiesto $t_{fi,req} =$	60	min	Valori di calcolo dei moduli di elasticità per incendio
Profondità carboniz. $d_{char} = \beta_0 t_{fi,req} =$	42,00	mm	mod. elast. parall. $E_{0,fi,d} =$ 11730 MPa
k_0 (se $t_{fi,req} < 20 \Rightarrow t/20$, altrimenti=1) =	1,00		mod. elast. ortog. $E_{90,fi,d} =$ 483 MPa
$d_0 =$	7	mm	modulo di taglio $G_{fi,d} =$ 897 MPa
$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0 =$	49,00	mm	Valori di calcolo di resistenza per incendio

N.° superfici esposte al fuoco			flessione $f_{m,fi,d} =$	32,2	MPa
lateralmente:	2		traz. parallela alle fibre $f_{t,0,fi,d} =$	22,425	MPa
riduzione di b:	2	d_{ef}	traz. ortog. alle fibre $f_{t,90,fi,d} =$	0,5175	MPa
inferiormente e superiormente:	1		compr. parallela alle fibre $f_{c,0,fi,d} =$	30,475	MPa
riduzione di h:	1	d_{ef}	compr. ortog. alle fibre $f_{c,90,fi,d} =$	3,45	MPa
Sezione efficace			taglio $f_{v,fi,d} =$	3,68	MPa

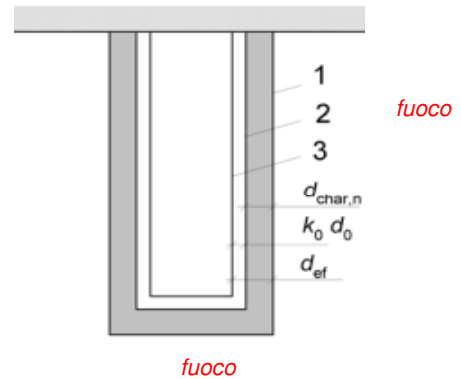
$b_{ef} =$	182,00	mm	Coefficienti di calcolo utilizzati (da EC5):		
$h_{ef} =$	511,00	mm	$k_{mod,fi} =$	1	} $k_{mod,fi} k_{fi} / \gamma_{M,fi} =$ 1,15
$A = b_{ef} h_{ef} =$	93002,00	mm ²	$k_{fi} =$	1,15	
$J_{22} = b_{ef} h_{ef}^3 / 12 =$	2023731270,17	mm ⁴	$\gamma_{M,fi} =$	1	
$W_{22} = b_{ef} h_{ef}^2 / 6 =$	7920670,33	mm ³			

Lunghezza di libera inflessione

$l_{3,eff} =$	8,55	m (campata)
$l_{3,eff} =$	0	m (sbalzo)

Combinazione di carico	$\Psi_{2,i} =$	0,60
$F_d = G_k + \Psi_{2,1} Q_{var,k}$	$\rightarrow q_d =$	9,47 kN/m

Sollecitazioni massime		
V =		44,98 kN
M =		106,83 kNm
Tensioni di progetto		
$t_d = 1,5 V_3 / A =$		0,73 Mpa
$S_{m,2,d} = M_{22} / W_{22} =$		13,49 Mpa
$S_{c,90,d} = V_3 / (b l_{app}) =$		0,99 Mpa



Calcolo dei coefficienti di sbandamento laterale k_{crit} e di $k_{c,90}$		
$k_{crit} =$ (formule in funzione di $\lambda_{rel,m}$) =	1,00	secondo (4.4.12) di NT 14/01/2008
$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} =$	0,63	snellezza a flessione
$f_{m,k} =$	28	Mpa
$\sigma_{m,crit} = (\pi b^2 / (l_{3,eff} h)) E_{0,05} (G_{mean} / E_{mean})^{0,5} =$	69,51	Mpa
$l_{3,eff} =$	8,55	m
$E_{0,fi,d} =$	11730	Mpa
$G_{mean} =$	780	Mpa
$E_{mean} =$	12600	Mpa
		modulo elastico parallelo caratteristico
		modulo di taglio medio
		modulo elastico parallelo medio

Calcolo del coefficiente di compressione ortogonale $k_{c,90}$		
$k_{c,90} = (2,38 - l_{app} / 250)(1 + h_{ef} / (12 l_{app})) \leq 4$	1,62	calcolato con le formule in 6.1.5 (3) EC5

VERIFICA DI RESISTENZA A FLESSIONE

$\eta = \sigma_{m,2,d} / f_{m,fi,d} \leq 1$ $\eta = 0,42 \leq 1$

VERIFICA DI STABILITA' (SVERGOLAMENTO)

$\eta = \sigma_{m,2,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,fi,d}) \leq 1$ $\eta = 0,42 \leq 1$

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

$\eta = \tau_d / f_{v,fi,d} \leq 1$ $\eta = 0,20 \leq 1$

VERIFICA DI COMPRESSIONE ALL'APPOGGIO

$\eta = \sigma_{c,90,d} / (k_{c,90,d} f_{c,90,d}) \leq 1$ $\eta = 0,18 \leq 1$

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 3 BORDO PIANO 2

Sezione		
b =	160	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,64	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,28	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,64	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,60	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,70			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,40			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 30

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 4 BORDO PIANO 2

Sezione		
b =	160	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,87	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,44	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,87	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,93	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,81			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,46			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 30

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 6 BORDO PIANO 2

Sezione		
b =	160	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,81	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,39	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,81	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,83	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,78			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,45			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 30

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 1 INTERNA PIANO 2

Sezione		
b =	280	mm
h =	620	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,80	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,43	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,80	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,93	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,68			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,48			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 2 INTERNA PIANO 2

Sezione		
b =	240	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,83	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,29	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,83	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,64	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,77			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,44			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 30

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 3 INTERNA PIANO 2

Sezione		
b =	240	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,85	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,38	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,85	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,81	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,92			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,53			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 4 INTERNA PIANO 2

Sezione		
b =	240	mm
h =	520	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,99	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,47	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,99	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,99	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,99			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,61			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA 6 INTERNA PIANO 2

Sezione		
b =	160	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,81	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,39	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,81	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,83	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,78			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,45			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 30

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE PRIMARIA ZONA CU3 PIANO 2

Sezione		
b =	240	mm
h =	520	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,77	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,21	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,77	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,45	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,81			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,49			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

Le zone CU2 e CU1, dato che hanno luci paragonabili a travi già dimensionate ma una larghezza di influenza molto minore, sono state scelte verificate per analogia. Il dimensionamento della CU3 interna è stato eseguito per dimostrare che si può mantenere continuità sezionale con le travi accanto.

5.8.3. TRAVI SECONDARIE COPERTURA MAGAZZINO

Allo stesso modo si procede per le travi secondarie in copertura del magazzino. La classe di servizio diventa 3 questa volta.

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 1M IN COPERTURA

Sezione		
b =	240	mm
h =	560	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,90	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,50	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,90	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,92	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,77			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,50			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 3M IN COPERTURA

Sezione		
b =	180	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,92	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,45	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,92	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,81	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,90			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,51			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 4M IN COPERTURA

Sezione		
b =	180	mm
h =	480	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione		Esito: OK!
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok	
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,88	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,42	
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,88	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,76	
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,88			
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,50			
Verifica di resistenza al fuoco		Le verifiche di resistenza risultano rispettate per		R 60

Le travi secondarie per la tettoia sono:

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 1 TETTOIA

Sezione		
b =	100	mm
h =	500	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione	
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,66	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,62
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,97	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,65
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,51		
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,30		

Esito: **OK!**

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 2 TETTOIA

Sezione		
b =	140	mm
h =	400	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione	
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,74	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,86
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,74	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,89
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,45		
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,22		

Esito: **OK!**

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 3 TETTOIA

Sezione		
b =	240	mm
h =	320	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione	
	se ≤ 1 → ok		se ≤ 1 → ok
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,60	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,96
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,60	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,86
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,29		
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,12		

Esito: **OK!**

SCelta DELLA TIPOLOGIA DI LEGNO E DI SEZIONE: TRAVE SECONDARIA ZONA 4 TETTOIA

Sezione		
b =	200	mm
h =	280	mm

Verifiche di resistenza		Verifiche di deformazione	
	se $\leq 1 \rightarrow ok$		se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,56	Freccia istantanea $u_{2,ist} / u_{2,ist,lim}$	0,86
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,56	Freccia netta finale $u_{,net,fin} / u_{,net,fin,lim}$	0,97
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,24		
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,08		

Esito: **OK!**

5.8.4. TRAVI PRINCIPALI COPERTURA MAGAZZINO

Anche in questo caso cambia solo lo schema statico: trave appoggio-appoggio con due carichi concentrati equidistanti. Per non riportare tutto in relazione rimandiamo alla consultazione dell'appendice.

5.8.5. TRAVE A SBALZO PER LA COPERTURA DEL MAGAZZINO

Dato la lunghezza di ben nove metri per lo sbalzo, questo particolare tipo di trave è stata dimensionata secondo uno schema di tipo appoggio-appoggio-sbalzo. Essa infatti si presenta come una trave unica che comincia dal pilastro sull'asse 17 e termina all'estremità della tettoia. Avendo già dimensionato le secondarie disponiamo dei valori di taglio che esse trasmettono alla principale, per cui non ci resta che impostare il calcolo delle varie azioni interne secondo lo schema adatto. Per fare questo ci siamo serviti del software FTOOL. Anche in questo caso abbiamo distinto trave di bordo e travi interne.

TRAVE INTERNA:

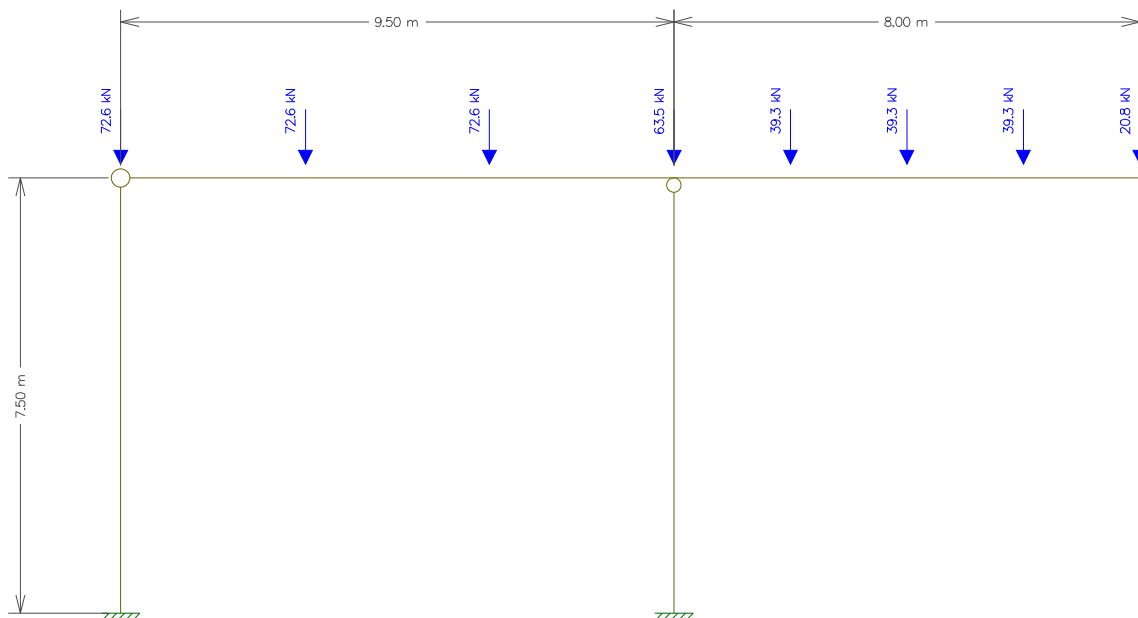


Diagramma dei momenti:

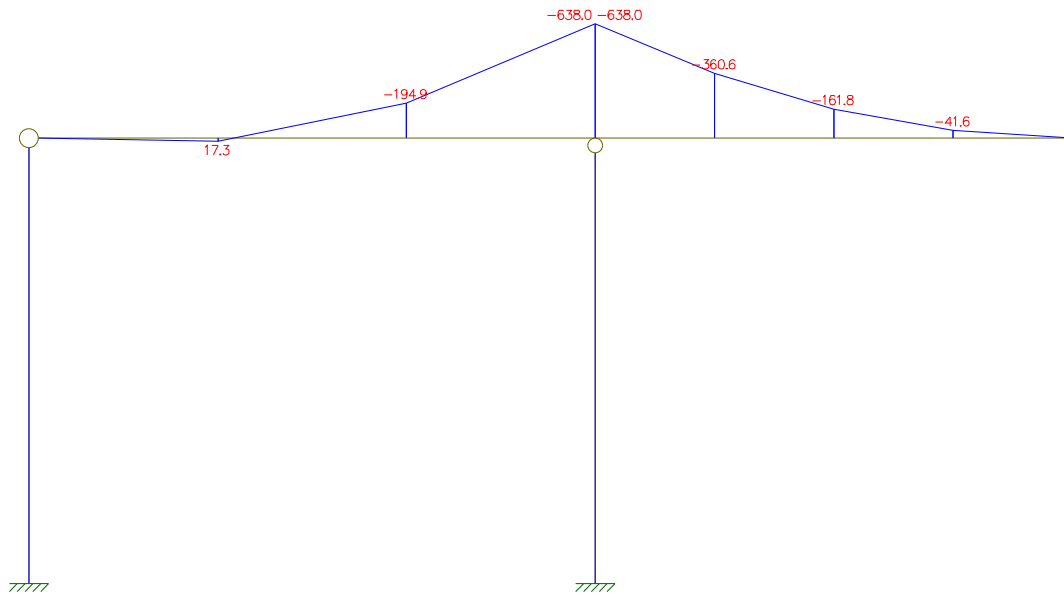


Diagramma delle azioni assiali:

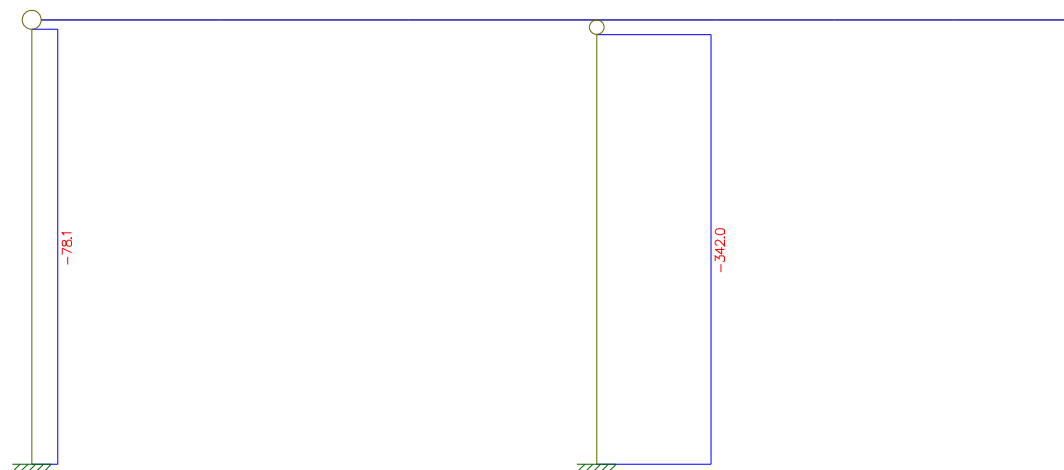


Figura 121 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne

Analizzando il grafico dell'azione assiale possiamo dedurre che i due pilastri risultano compressi. La trave continua infatti è stata preferita ad uno schema a trave singola a mensola collegata all'ultimo pilastro proprio perché ci sarebbe stato il rischio di sollevamento dello stesso (azione assiale positiva) per azione dello sbalzo.

Dal diagramma del momento invece possiamo dedurre quale sia il momento agente peggiore e dove sia il suo punto di applicazione. Dato che le forze applicate corrispondono alla combinazione SLU possiamo scegliere una sezione adatta a sopportare il momento agente. Si tratta solamente di trovare il valore di $W_{xx} = bh^2/6$ minimo per assicurare che la verifica di resistenza a flessione sia positiva (tensione minore della resistenza), facilmente ricavabile tramite il foglio di calcolo visto per le

travi. Allo stesso modo possiamo inserire il valore di taglio agente e controllare che anche le altre verifiche di resistenza siano rispettate.

A questo punto possiamo calcolare anche la freccia della trave interna per vedere se rispetta i limiti normativi. Sempre attraverso il software FTOOL basta impostare il tipo di materiale costituente la trave, le dimensioni della sezione ricavata prima e i relativi valori E ed I. Dato che le verifiche di freccia non vengono soddisfatte, abbiamo aumentato la sezione trovata precedentemente, adottando quella utilizzata per le travi interne del magazzino nelle altre zone. In questo caso, svolgendo la verifica con la combinazione SLE (carichi totali), notiamo che in campata abbiamo una freccia positiva (contro freccia) di 2,5mm, dovuto all'effetto della trave a sbalzo. Sulla parte esterna invece la freccia in punta è pari a 60,1mm. Ricordiamo che la freccia ammissibile per la mensola (carichi totali) si calcola come 2L/200 e non L/200 come nel caso della trave in appoggio. Le frecce sono entrambe minori dei valori ammissibili, per cui possiamo affermare che le verifiche siano tutte rispettate. La sezione adottata quindi è:

Sezione		
b =	460	mm
h =	740	mm

Verifiche di resistenza	
	se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,97
Stabilità $\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,97
Taglio $t_d / f_{v,d} =$	0,51
Compr. app. $\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,42

Per quanto riguarda la trave di bordo si procede nello stesso modo, cambieranno solo i carichi agenti dato che le travi secondarie in appoggio sulla primaria saranno la metà di prima:

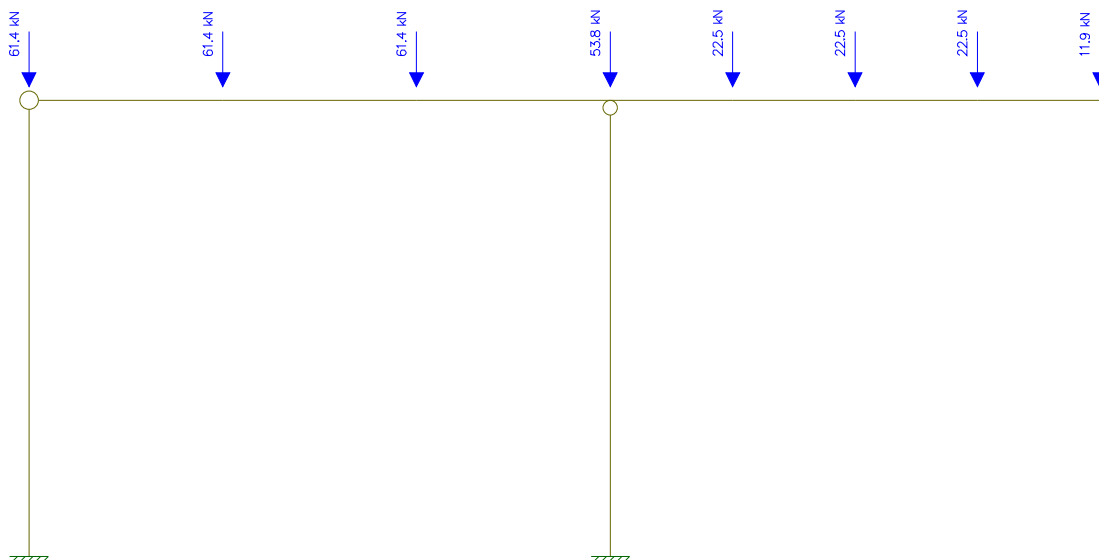


Diagramma dei momenti:

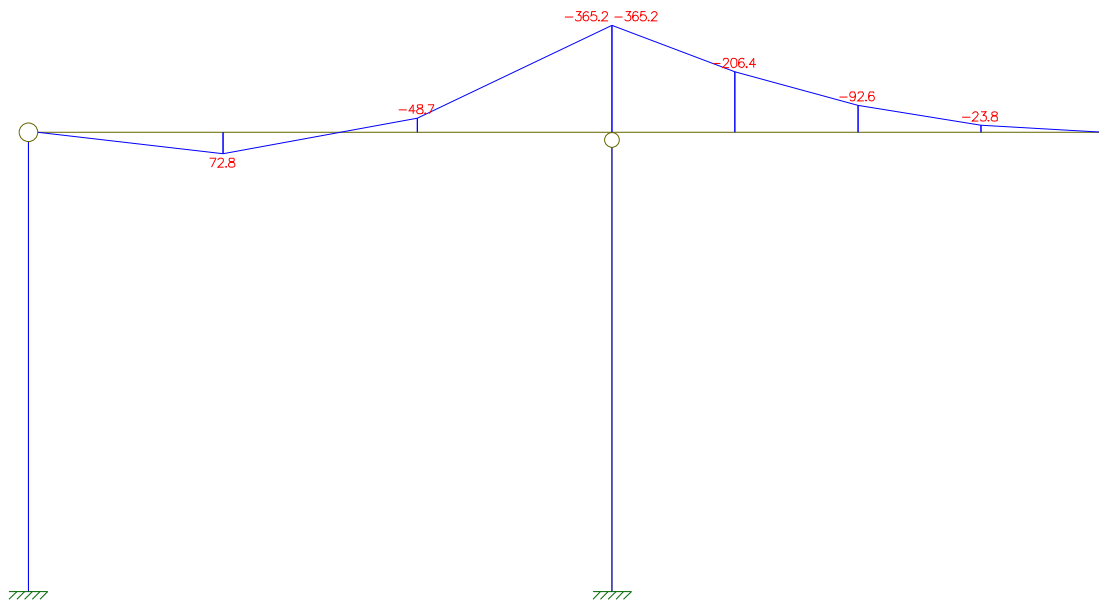


Diagramma delle azioni assiali:

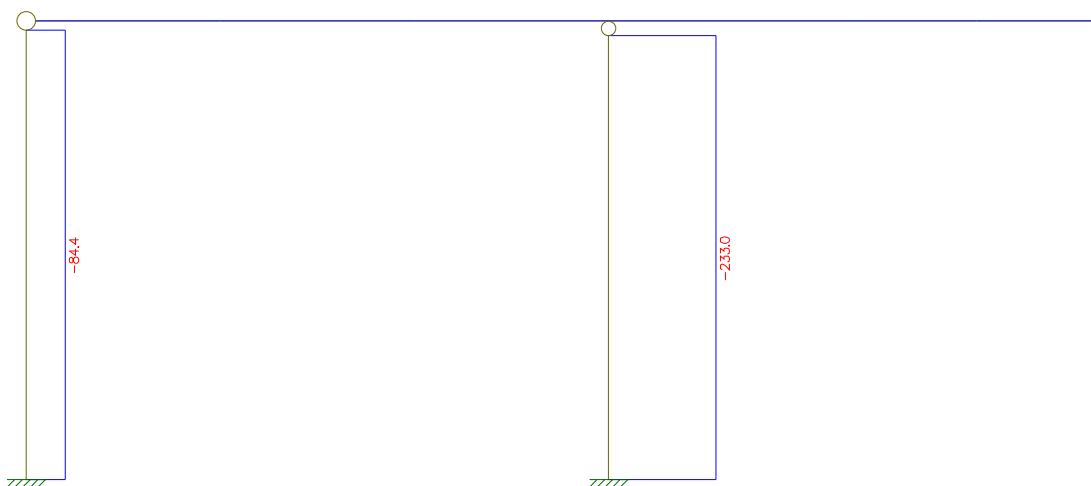


Figura 122 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne

Le verifiche di freccia e di rottura sono entrambe verificate adottando il seguente profilo, scelto soprattutto per mantenere la coerenza con la trave interna:

b =	320	mm
h =	740	mm

Verifiche di resistenza		
		se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,80
Stabilità	$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,80
Taglio	$t_d / f_{v,d} =$	0,53
Compr. app.	$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,43

Se volessimo eseguire nuovamente la verifica a flessione tenendo conto di una rastremazione della trave di $2,9^\circ$, basta amplificare il termine $\sigma_{m,d}$ mediante un coefficiente pari a $1+4\text{tg}^2(\text{angolo rastremazione})$ verificare nuovamente che $\sigma_{m,d}^*/f_{m,d} < 1$. La variazione rispetto al valore calcolato prima è praticamente ininfluenza.

5.8.6. TRAVI SECONDARIE COPERTURA DIREZIONE

Dato che, come nel piano precedente, abbiamo usato pannelli strutturali appositamente scelti per le luci in questione, in copertura non ci sarebbe bisogno di usare travi secondarie. La scelta di posizionarle ugualmente nasce dal fatto che abbiamo una trave ancora più esterna della principale che serve a reggere il sistema di ombreggiamento. Questo perché i pilastri sono arretrati rispetto al filo della facciata, mentre noi abbiamo bisogno di una superficie solida di aggancio per le lame, che sia complanare alle chiusure. Questa trave di servizio si trova a circa mezzo metro di distanza dal pilastro di bordo, e dato che utilizzare una trave di collegamento così corta risulta molto scomodo per via delle difficoltà di aggancio con le staffe, abbiamo scelto di posizionare una trave secondaria che si agganci al pilastro più interno ed esca a sbalzo di mezzo metro. Lo schema statico utilizzato è identico a quello usato per la trave a sbalzo del magazzino, cambia solamente lo schema di carico (che ora presenta solo un carico di punta) e le distanze tra gli appoggi. Il dimensionamento di questa trave verrà trattato nel paragrafo dedicato al sistema di oscuramento.

5.8.7. TRAVI PRINCIPALI COPERTURA DIREZIONE

Anche in questo caso si segue lo stesso procedimento per le travi principali del piano due. Cambieranno i carichi strutturali e non strutturali, diminuendo entrambe. Ai carichi variabili si aggiungeranno quelli della neve, mentre quelli per la presenza di persone passeranno da 2 a $0,5\text{kN/m}^2$. Le travi che risulteranno da questa analisi saranno più basse e più snelle di quelle al piano inferiore. Si allegano le schede in appendice.

5.8.8. SISTEMA DI OSCURAMENTO IN LEGNO

Per verificare la stabilità di questo sistema così particolare abbiamo dovuto fare alcune ipotesi riguardo le forze a cui le lame saranno soggette: sicuramente l'unico tipo di sollecitazione sarà rappresentata dalla forza del vento, che però agirà in direzione perpendicolare all'asse forte e non in direzione parallela come i carichi sulle travi orizzontali all'interno dell'edificio. Questo vuol dire che al momento di dimensionare la trave bisognerà invertire i termini b e h . Un'altra considerazione da fare è rispetto al peso proprio della trave, che verrà trascurato dato che non agisce secondo la direzione del vento, quindi non solleciterà la trave a flessione. Data la configurazione scelta per gli agganci a terra e in facciata possiamo schematizzare la situazione come una trave incernierata a terra, pattino in facciata e sbalzo in cima. Il pattino può essere sostituito con una cerniera nei casi in cui la lama non arriva a terra.

Rispetto alla geometria invece possiamo solo ipotizzare che il profilo sia di larghezza costante, pari al massimo della larghezza della lama, ossia $0,7\text{m}$, in modo che

rappresenti la larghezza d'influenza sulla quale applicare il carico del vento. Chiaramente in questo modo sovrastimeremo la forza impressa, ma sarà un procedimento a favore di sicurezza, sicuramente più agevole rispetto ad utilizzare una distribuzione del carico non costante e nemmeno lineare.

A questo punto non ci resta che calcolare le azioni agenti sulla lama mediante il nostro foglio di calcolo, appositamente modificato in modo da non far comparire il peso proprio del legno. Procederemo a verificare la lama secondo la sua sezione più stretta sottoposta al peggiore dei momenti agenti, quello in mezzeria. Se la verifica risulterà positiva vorrà dire che in qualunque altro punto della lama capiti questa sezione sarà sempre verificata. In questo caso però quello che ci interessa non è tanto definire la sezione minima, quanto verificare che la sezione minima decisa da noi sia rispettosa delle verifiche di resistenza, questo perché, architettonicamente parlando, una sezione troppo larga non sarebbe in accordo con l'effetto in facciata da noi ricercato. In questo caso useremo un legno lamellare di tipo GL32h.

Sezione		
b =	150	mm
h =	100	mm

Geometria		
α trave =	0,00	°
l campata =	11,50	m
l sbalzo =	2,00	m

Verifiche di resistenza		
		se $\leq 1 \rightarrow$ ok
<i>Flessione</i>	$\sigma_{m,2,d} / f_{m,d} =$	2,49
<i>Stabilità</i>	$\sigma_{m,2,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	xxx
<i>Taglio</i>	$\tau_d / f_{v,d} =$	0,20
<i>Compr. app.</i>	$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	xxx

Quello che possiamo concludere da questo calcolo è che una lama con sezione minima 100x150 di 11,5 metri di lunghezza, con un ulteriore sbalzo di 2 metri non resiste alle azioni del vento calcolate per la nostra zona. Questo significa che dobbiamo assolutamente limitare la distanza tra gli appoggi. Per questo motivo abbiamo deciso di inserire un ulteriore aggancio in facciata in modo da ridurre la lunghezza libera e limitare così il momento agente sulla trave. Modificando il foglio di calcolo possiamo intuire quale sia questa lunghezza:

Sezione		
b =	150	mm
h =	100	mm

Geometria		
$\alpha_{trave} =$	0,00	°
$l_{campata} =$	7,50	m
$l_{sbalzo} =$	2,00	m

Carichi agenti per metro quadro		
passo (o tratto di carico) =	0,70	m
q_{G2k} (permanente) =	0,00	kN/m ²
q_{Vk} (variabile) =	0,59	kN/m ²

Verifiche di resistenza		
		se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione	$\sigma_{m,2,d} / f_{m,d} =$	0,97
Stabilità	$\sigma_{m,2,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	xxx
Taglio	$\tau_d / f_{v,d} =$	0,14
Compr. app.	$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	xxx

Questo vuol dire che la massima distanza tra gli appoggi deve essere limitata a 7,5 metri; basterà quindi un solo aggancio in più in facciata per garantire la stabilità del sistema.

A questo punto non resta che dimensionare la trave di servizio, ossia quella a cui verranno fissate le lame in sommità, che corre esternamente alla travatura principale portante. Questa trave sarà soggetta solamente al carico verticale esercitato dalle lame stesse oltre che al suo peso. Abbiamo dimensionato questa trave per la zona più sfavorita, ossia la 1, dove la distanza tra gli appoggi è massima e pari a 9,5metri. Anche lo schema di carico ipotizza che tutte le lame siano appese e non vincolate a terra, quindi scarichino la forza assiale totalmente sulla trave. Useremo lo stesso profilo per tutto l'edificio, sia per comodità costruttiva che per necessità di immagine in prospettiva. Il peso medio di una lama è calcolabile come quello di un profilo da 100x400 (lo spessore varia da 100 a 700) alto 13 metri: sapendo che il peso specifico del legno lamellare è 450kg/m³ e la lama è rivestita da un sottile strato di alluminio da 0,3mm, possiamo dedurre facilmente che la forza verticale scaricata sulla trave di servizio da ogni lama è pari a 3,6kN. Ottenuto questo valore basta inserire i dati in FTOOL e ricavare i grafici di momento e taglio. La disposizione utilizzata è di una lama ogni metro. Vediamo lo schema:

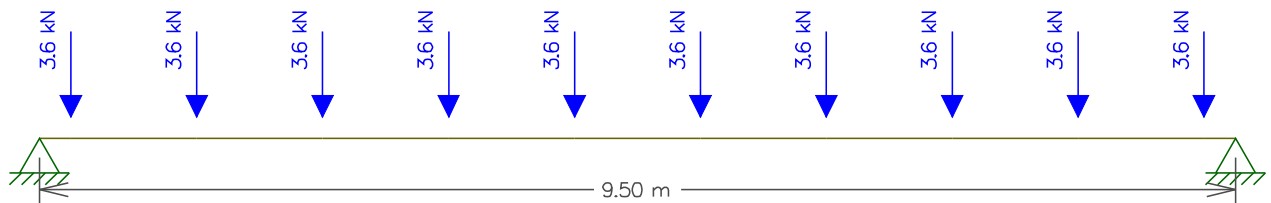


Diagramma del momento:

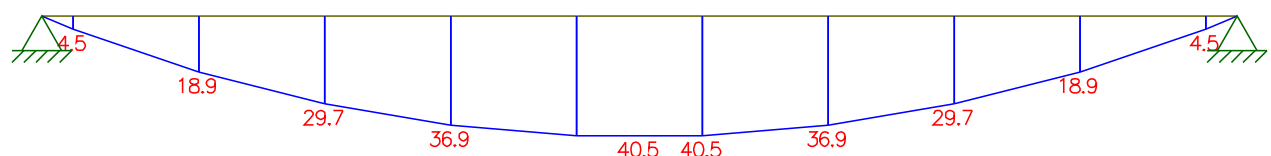


Diagramma del taglio:

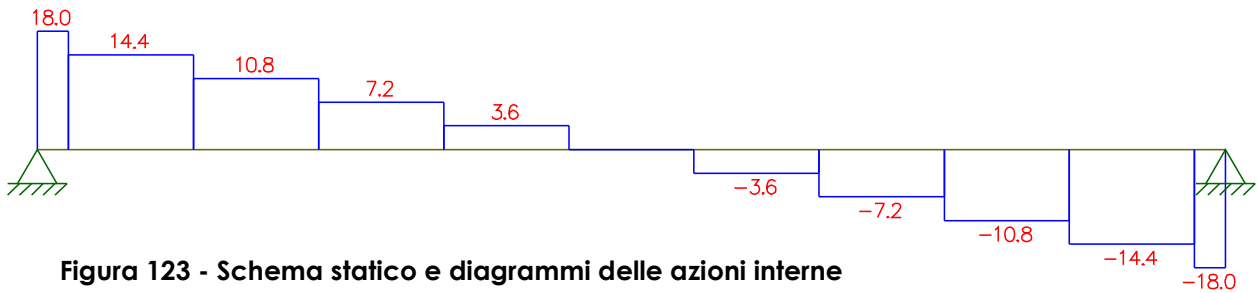


Figura 123 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne

Utilizzando i valori trovati come già spiegato in precedenza possiamo ottenere il dimensionamento della trave di servizio:

Sezione		
b =	140	mm
h =	360	mm

Verifiche di resistenza		
		se $\leq 1 \rightarrow ok$
Flessione	$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,85
Stabilità	$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,85
Taglio	$t_d / f_{v,d} =$	0,45
Compr. app.	$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,20

Il calcolo della freccia risulta estremamente variabile, ma considerando che la maggior parte delle lame sono agganciate a terra (e quindi hanno un vincolo sullo spostamento verticale) possiamo dedurre che essa venga fortemente limitata. Se anche esistessero dei casi in cui la freccia non dovesse essere verificata si possono prevedere adeguati rompitratta agganciate alla trave posteriore per limitare l'inflessione della trave di servizio.

Per quanto riguarda la trave secondaria che regge il sistema esterno vale quanto detto nel paragrafo riguardante le travi secondarie in copertura. I grafici risultanti sono:

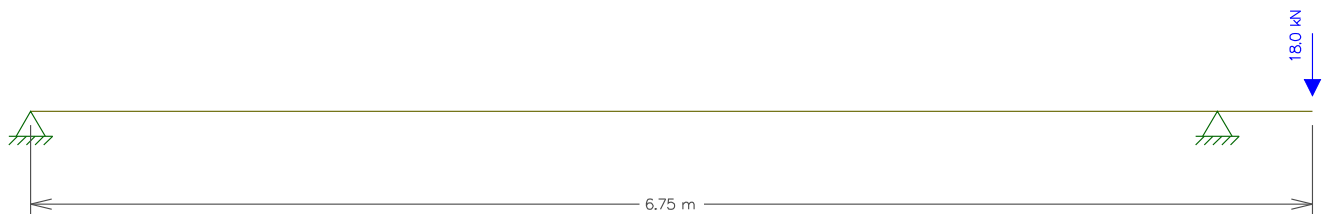


Diagramma del momento:

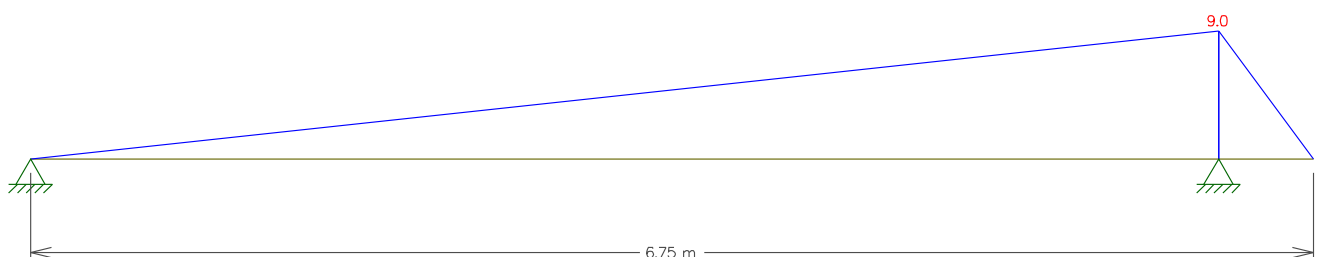
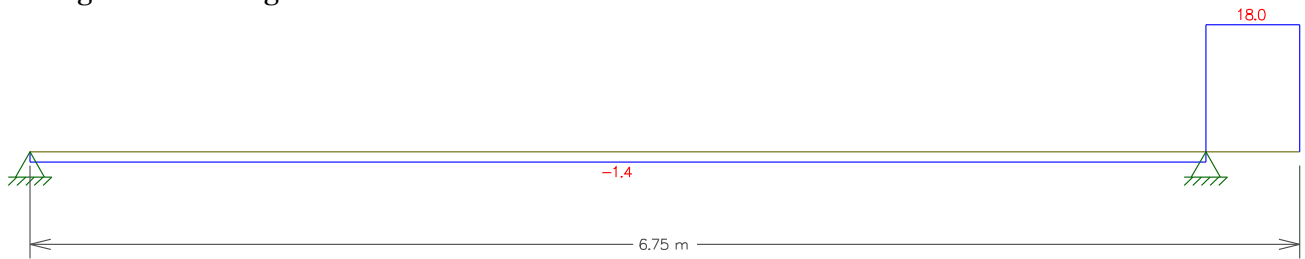


Diagramma del taglio:



Date queste azioni, le verifiche risultano rispettate con un profilo:

Sezione		
b =	120	
h =	200	mm

Verifiche di resistenza		
		se $\leq 1 \rightarrow \text{ok}$
Flessione	$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$	0,72
Stabilità	$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) =$	0,72
Taglio	$t_d / f_{v,d} =$	0,94
Compr. app.	$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}) =$	0,24

Anche in questo caso il calcolo è stato svolto su una situazione idealmente peggiore, che in realtà non si verificherà in nessun punto del nostro edificio. Il carico di punta infatti ipotizza che tutte le lame siano appese alla trave di servizio e nessuna di queste sia agganciata a terra, che esse siano tutte alte 13 metri e abbiano una sezione costante. Questa cautela ci permette di dimensionare il sistema mantenendo un buon margine di sicurezza.

5.8.9 UNIONI CON STAFFA A SCOMPARSA

Per il progetto dei collegamenti trave-trave o trave-pilastro, nel caso del legno, abbiamo deciso di utilizzare le staffe a scomparsa. Il procedimento analizzato per questa trave in copertura del magazzino è analogo a quello utilizzabile per tutte le altre travi, di cui non riporteremo i risultati. Nel caso di unione trave-pilastro la seconda parte del foglio di calcolo, riguardante le viti, non dovrà essere utilizzata dato che verrà usata una saldatura, dimensionata secondo il metodo illustrato nei paragrafi precedenti.

UNIONE CON STAFFA A SCOMPARSA - TRAVE SEC. 1M/TRAVE PRIM. 1M

Per la verifica di un collegamento mediante staffa a scomparsa si seguono le indicazioni contenute nell' Eurocodice 5, sezione 8.5.

Connessioni acciaio-legno

- (1) La capacità portante caratteristica di una connessione acciaio-legno dipende dallo spessore delle piastre di acciaio. Piastre di acciaio aventi spessore minore o uguale a $0,5d$ sono classificate come piastre sottili, mentre le piastre di acciaio aventi spessore maggiore o uguale a d con la tolleranza dei diametri di foratura minore di $0,1d$ sono classificate come piastre spesse. Si raccomanda che la capacità portante caratteristica di connessioni con piastre di acciaio aventi spessore compreso fra quello di una piastra sottile e quello di una piastra spessa sia calcolata tramite interpolazione lineare fra i valori limite per le piastre sottili e spesse.
- (3) Si raccomanda che la capacità portante caratteristica per chiodi, bulloni, spinotti e viti, per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione, sia assunta come il valore minimo determinato tramite le espressioni seguenti:
 - Per una piastra di acciaio di qualsiasi spessore interposta come elemento centrale di una connessione a doppio taglio:

$$F_{v,Rk} = \min. \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \quad (8.11)$$

dove:

$F_{v,Rk}$ è la capacità portante caratteristica, per piano di taglio e per mezzo di unione;

$f_{h,k}$ è la resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento ligneo;

t_1 è il più piccolo degli spessori dell'elemento dal lato legno, oppure la profondità di penetrazione;

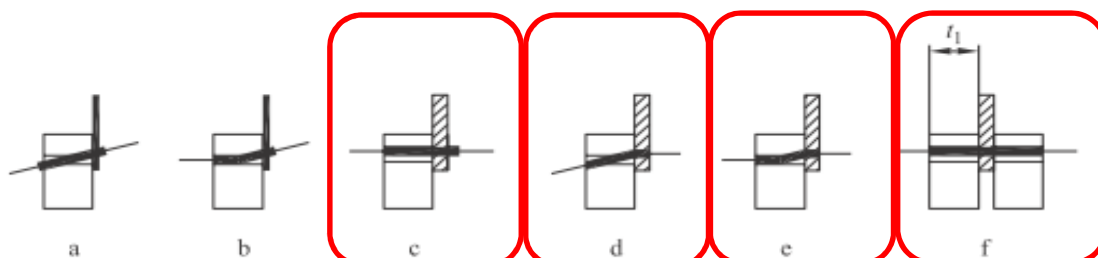
t_2 è lo spessore dell'elemento ligneo centrale;

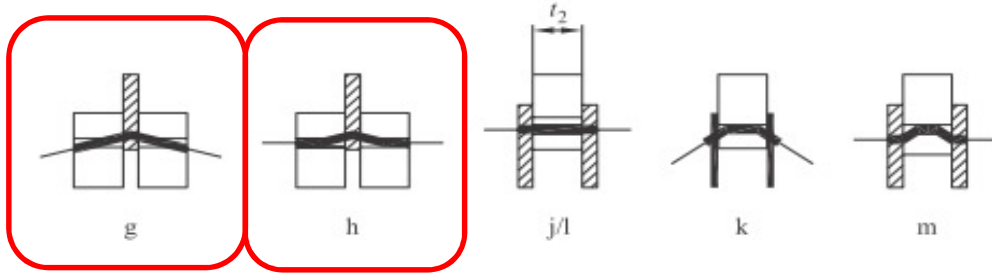
d è il diametro del mezzo di unione;

$M_{y,Rk}$ è il momento caratteristico di snervamento, per il mezzo di unione;

$F_{ax,Rk}$ è la capacità caratteristica a estrazione, per il mezzo di unione.

figura 8.3 Modi di rottura per connessioni acciaio-legno





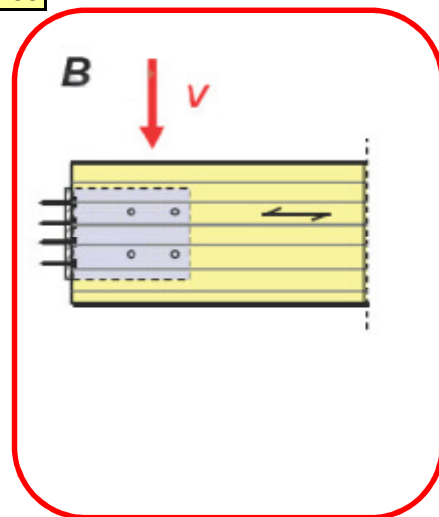
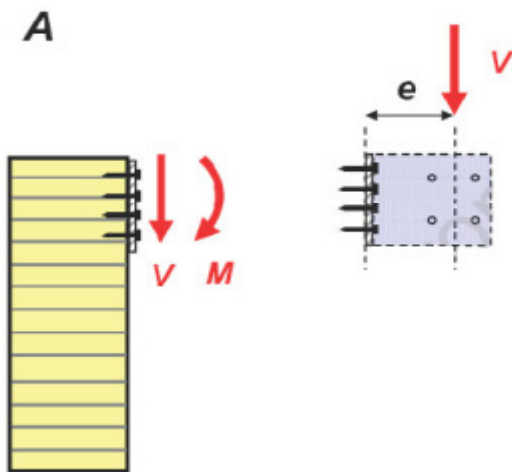
CARICHI AGENTI

taglio agente sulla trave SLU	83,05 [kN]
-------------------------------	------------

GEOMETRIA DEL COLLEGAMENTO

	h	b
Dimensione della trave sec.	560	240

	h	b
Dimensione della trave prim.	640	460



	Righe	Colonne	Totale
Spinotti su trave secondaria	7	2	14
Viti su trave primaria	7	4	28

Per una fila di n bulloni parallela alla direzione della fibratura, si raccomanda che la capacità portante parallela alla fibratura, vedere punto 8.1.2(4), sia calcolata utilizzando il numero efficace di bulloni n_{ef} dove:

$$n_{ef} = \min. \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad (8.34)$$

dove:

- a_1 è la spaziatura fra bulloni in direzione della fibratura;
- d è il diametro del bullone;
- n è il numero di bulloni nella fila.

Per carichi ortogonali alla fibratura, il numero efficace di mezzi di unione deve di norma essere assunto come:

$$n_{ef} = n \quad (8.35)$$

Per angoli $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ fra direzione del carico e direzione della fibratura, n_{ef} può essere determinato tramite interpolazione lineare fra le espressioni (8.34) e (8.35).

Nel nostro caso il taglio proveniente dalla trave secondaria agisce perpendicolarmente alle fibre, quindi $n_{eff}=n$ dato che non ci sono sforzi paralleli alle fibre.

n efficace in entrambe le dir.	14
--------------------------------	----

DATI DI PROGETTO PER LA CONNESSIONE SU TRAVE SECONDARIA

peso specifico legno ρ	500	kg/m ³
diametro connettore d	16	mm
angolo forza-fibre α	1,57	rad
resistenza a trazione spinotto $f_{u,k}$	470	N/mm ²
minore spessore lato legno t_1	115	mm
k_{mod}	0,70	-
γ_M	1,30	-
k_{90}	1,54	-

La scelta di γ_M è dettata dal fatto che si sta progettando una connessione, mentre k_{mod} dipende dal tipo di combinazione di carico e di classe di servizio dell'edificio. k_{90} verrà calcolato come di seguito.

Per bulloni aventi diametro fino a 30 mm, si raccomanda che siano adottati i seguenti valori per la resistenza caratteristica a rifollamento del legno e del LVL, per un angolo α rispetto alla direzione della fibratura:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (8.32)$$

dove:

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{per legno di conifere} \\ 1,30 + 0,015d & \text{per LVL} \\ 0,90 + 0,015d & \text{per legno di latifoglie} \end{cases} \quad (8.33)$$

e:

$f_{h,0,k}$ è la resistenza caratteristica a rifollamento, parallelamente alla fibratura, in N/mm²;

ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m³;

α è l'angolo formato dalla retta di azione del carico e la fibratura;

d è il diametro del bullone, in mm.

Il momento di snervamento viene calcolato come segue:

Bulloni caricati lateralmente

Generalità e connessioni legno-legno con bulloni

(1) Per i bulloni devono essere di norma usati i seguenti valori caratteristici del momento di snervamento:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} \quad (8.30)$$

dove:

$M_{y,Rk}$ è il valore caratteristico del momento di snervamento, in Nmm;

$f_{u,k}$ è la resistenza caratteristica a trazione, in N/mm²;

d è il diametro del bullone, in mm.

resistenza rifollamento per viti con preforo $f_{h,0,k}$	$0,082 \rho/d^{0,3}$	17,846	N/mm ²
resistenza a rifollamento con spinotti $f_{h,\alpha,k}$	$f_{h,0,k}/k_{90}\text{sen}^2\alpha+\text{cos}^2\alpha$	11,589	N/mm ²
momento plastico di snervamento spin. $m_{v,rk}$	$0,3 f_{u,k} * d^{2,6}$	190515,830	N/mm

capacità portante caratteristica $f_{v,rk}$ a seconda del meccanismo di rottura:

$f_{v,rk}$ meccanismo f	21322,841	N
	21,323	kN

$f_{v,rk}$ meccanismo g	11090,518	N
	11,091	kN

$f_{v,rk}$ meccanismo h	13669,952	N
	13,670	kN

Il progetto della connessione prende in considerazione la situazione più sfavorevole, ossia quella con resistenza a taglio minore.

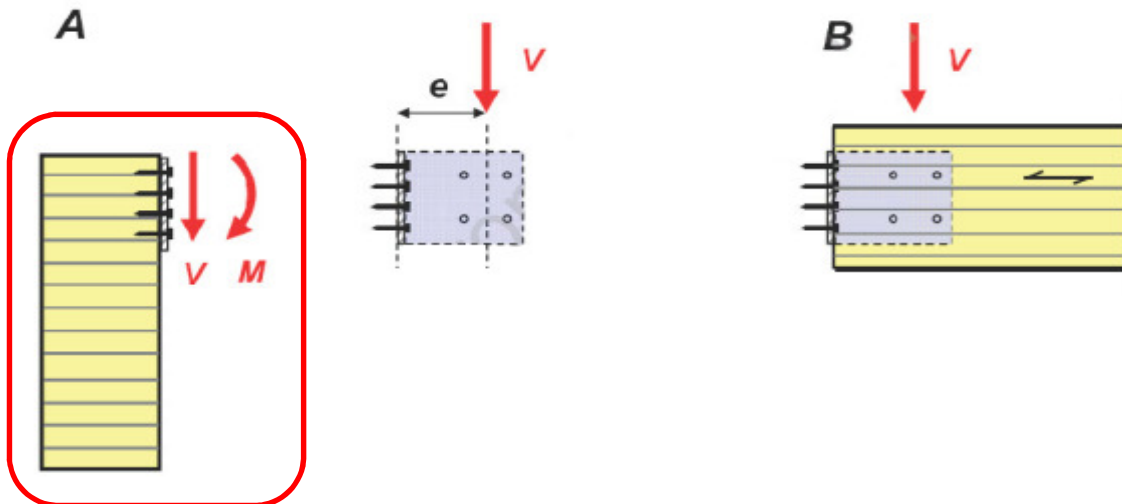
$f_{v,rk}$ scelta	11,091	kN
-------------------	--------	----

VERIFICA DELLA RESISTENZA

resistenza di calcolo connessioni $f_{v,rd}$	$f_{v,rk} * k_{mod}/\gamma_M$	5,972	kN
resistenza totale di calcolo $f_{v,rd,tot}$	$f_{v,rd} * n_{eff}$	83,605	kN
forza agente SLU	$f_{v,ed,tot}$	83,05	kN
verifica	$f_{v,ed,tot}/f_{v,rd} < 1$	0,99	Verificata

Dopo aver verificato la resistenza della connessione lato trave secondaria, dobbiamo verificare che non si manifestino fenomeni di estrazione nella zona di fissaggio alla trave primaria, visto che la forza di taglio agente sulla trave sviluppa anche un momento a causa dall'eccentricità degli spinotti sulla secondaria.

DATI DI PROGETTO PER LA CONNESSIONE SU TRAVE PRIMARIA



Il disegno schematizza una situazione generale, il numero di connettori e la disposizione degli stessi varia di caso in caso.

peso specifico legno ρ	500	kg/m ³
diametro vite d	8	mm
Num. viti su pil./trave prim.	28	-
Profondità penetrazione t_{pen}	80	mm
eccentricità su trave sec. e	85	mm
angolo forza-fibre α	1,57	rad
resistenza a trazione vite $8.8 f_{u,k}$	800	N/mm ²
minore spessore lato legno t_1	460	mm
k_{mod}	0,70	-
γ_M	1,30	-
k_{90}	1,42	-

Momento agente	$M_{ed} = f_{v,ed,tot} * e$	7,06	kNm
Sollecitazione di taglio sul bull.	$f_{v,ed} = f_{v,ed,tot} / n_{bull}$	2,97	kN

La resistenza a rifollamento per viti con $d > 6$ mm si calcola come quella dei bulloni

resistenza rifollamento per viti con preforo $f_{h,0,k}$	$0,082 \rho / d^{0,3}$	21,971	N/mm ²
resistenza a rifollamento $f_{h,\alpha,k}$	$f_{h,0,k} / k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$	15,473	N/mm ²
momento plastico di snervamento $m_{y,Rk}$	$0,3 f_{u,k} * d^{2,6}$	53486,627	N/mm

- Per una piastra di acciaio spessa, a taglio singolo:

$$F_{v,Rk} = \min. \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & (c) \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \end{cases} \quad (8.10)$$

f _{v,rk} meccanismo c	29707,755 N
	29,708 kN

f _{v,rk} meccanismo d	34853,898 N
	34,854 kN

f _{v,rk} meccanismo e	5918,065 N
	5,918 kN

Il progetto della connessione prende in considerazione la situazione più sfavorevole, ossia

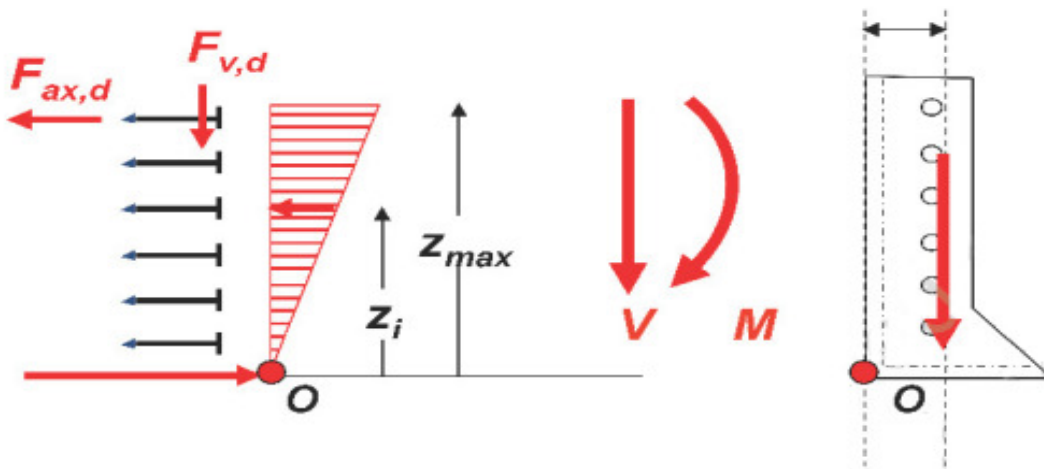
f _{v,rk} scelta	5,918 kN
--------------------------	----------

VERIFICA DELLA RESISTENZA

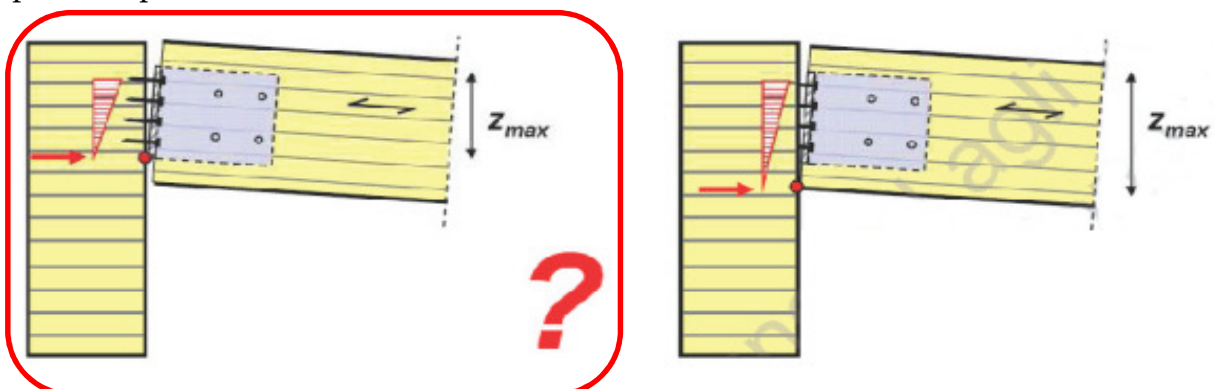
resistenza di calcolo connessioni f _{v,rd}	f _{v,rk} *k _{mod} /γ _M	3,187 kN
resistenza totale di calcolo f _{v,rd,tot}	f _{v,rd} *n _{eff}	89,226 kN
forza agente SLU	f _{v,ed,tot}	83,05 kN
verifica	f _{v,ed,tot} /f _{v,rd} < 1	0,93 Verificata

SOLLECITAZIONE DI ESTRAZIONE

La sollecitazione di estrazione si può agevolmente calcolare se si suppone una distribuzione lineare delle forze di trazione sui connettori tra trave principale e secondaria o pilastro.



Nel caso di staffe a scomparsa consideriamo Z_{max} nel peggiore dei casi, ossia l'altezza della piastra. Opereremo a favore di sicurezza.



$$M = \sum F_{ax,i} \cdot z_i = F_{ax,max} \cdot \frac{\sum z_i^2}{z_{max}}$$

$$F_{ax,max} = M \cdot \frac{z_{max}}{\sum z_i^2}$$

La formula è corretta perché per ipotesi sappiamo che la sollecitazione a estrazione maggiore si troverà sulla vite più alta.

Altezza della piastra z	384,00	mm
Distanza 1 ^a vite dal bordo inf. t	30,00	mm
Distanza tra le viti	59,00	mm
Forza max di estrazione $F_{ax,max}$	6820,90	N
	6,82	kN

RESISTENZA A ESTRAZIONE

Per connessioni con viti in conformità alla EN 14592 con:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$

- $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$

si raccomanda che la capacità caratteristica a estrazione sia presa come:

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (8.38)$$

dove:

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} /_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (8.39)$$

$$k_d = \min. \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{8} \\ 1 \end{array} \right. \quad (8.40)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ è la capacità caratteristica a estrazione della connessione, secondo un angolo α rispetto alla direzione della fibratura, in newton;

$f_{ax,k}$ è la resistenza caratteristica a estrazione, perpendicolare rispetto alla direzione della fibratura, in N/mm^2 ;

n_{ef} è il numero efficace di viti, vedere punto 8.7.2(8);

d_{ef} è la lunghezza di penetrazione della parte filettata in millimetri;

ρ_k è la massa volumica caratteristica, in kg/m^3 ;

α è l'angolo tra l'asse della vite e la direzione della fibratura, con $\alpha \geq 30^\circ$.

$f_{ax,k}$	17,11	N/mm^2
k_d	1,00	-
$F_{ax,k,Rk}$	306,66	kN

VERIFICA DELLA RESISTENZA TOTALE

La verifica per taglio ed estrazione va quindi effettuata sul chiodo più alto (che risulta infatti quello più sollecitato ad estrazione).

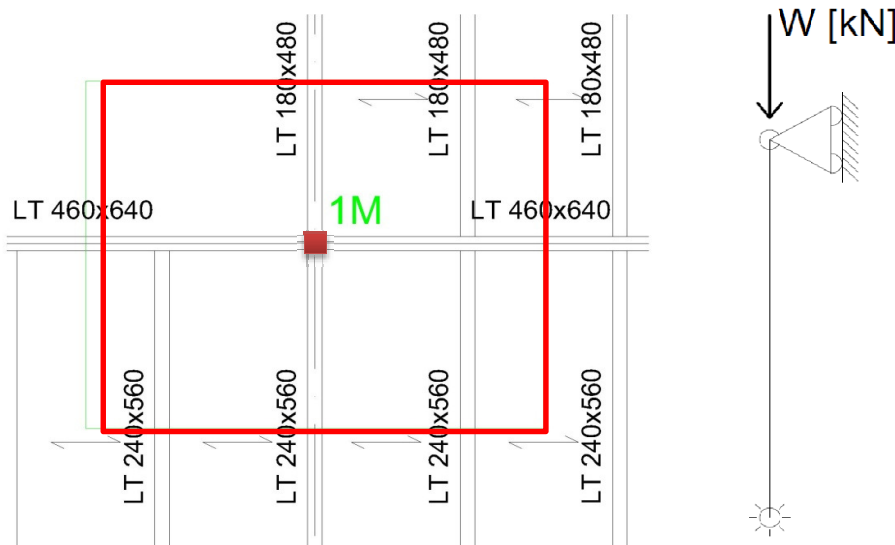
$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right)^2 \cong 1$$

$(F_{ax,max}/F_{ax,k,Rk})^2 + (f_{v,ed,tot}/f_{v,rd,tot})^2 < 1$	0,87	Verificata
--	------	------------

5.9 DIMENSIONAMENTO DEI PILASTRI

Per il dimensionamento dei pilastri eseguiamo prima un'analisi dei carichi agenti su uno di essi.

CARICHI PERMANENTI E SCHEMA STATICO PILASTRO CENTRATO - ANALISI SU PILASTRO 1M



1) Il pilastro è imbullonato alle travi solo sulla loro anima, si considera questo collegamento come cerniera. I carichi trasmessi sono quindi solo verticali e non sarà necessaria la verifica a presso flessione, perché non viene trasmesso alcun momento.

n° piani	2	[-]				
	Trave A1	Trave A2	Trave L1	Trave L2	Trave L3	
tipo di trave	IPE 450	IPE 360	460x640	240x560	180x480	
peso trave/m	77,60	57,10	132,70	60,50	38,90	[kg/m]
lunghezza travi	4,60	4,12	4,60	3,80	3,35	[m]
peso trave	356,96	235,25	610,42	229,90	130,32	[kg]
g acc. di gravità	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	[m/s ²]
peso voluminico	3501,78	2307,82	5988,22	2255,32	1278,39	[N]
peso voluminico	3,50	2,31	5,99	2,26	1,28	[kN]
n° ragguagliato travi	2,00	3,50	2,00	3,00	2,00	[-]
Peso globale travi	36,38					[kN]
Peso globale struttura travi sul pilastro PT	36,38					[kN]
larghezza di influenza pilastro (l)	7,48					[m]
larghezza di influenza pilastro (i)	9,50					[m]
superficie che grava sul pilastro (S)	71,06					[m ²]
n° piani	2,00					[-]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G1)	0,60					[kN/m ²]
peso strut. Oriz. copertura/m ² (G1)	0,37					[kN/m ²]
peso al piano strut. Oriz. Piano tipo (G1)	42,64					[kN]
peso al piano strut. Oriz. copertura (G1)	26,29					[kN]
Peso globale struttura travi sul pilastro PT	36,38					[kN]
peso globale carichi permanenti strut. (G1)	105,31					[kN]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G2)	0,95					[kN/m ²]
peso non strut. Oriz. copertura/m ² (G2)	1,05					[kN/m ²]
peso PV /m ² "spalmato" (G2)	0,50					[kN/m ²]
peso al piano non strut. Oriz. Piano tipo (G2)	67,51					[kN]
peso al piano non strut. Oriz. copertura (G2)	74,61					[kN]
peso al piano PV "spalmato" (G2)	35,53					[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G2)	177,65					[kN]

CARICHI PERMANENTI SU PILASTRO 1M

larghezza di influenza pilastro (l)	7,48	[m]
larghezza di influenza pilastro (i)	9,5	[m]
superficie che grava sul pilastro (S)	71,06	[m ²]
n° piani	2	[-]
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G ₁)	0,6	[kN/m ²]
peso strut. Oriz. copertura/m ² (G ₁)	0,37	[kN/m ²]
peso al piano strut. Oriz. Piano tipo (G ₁)	42,64	[kN]
peso al piano strut. Oriz. copertura (G ₁)	26,29	[kN]
Peso globale struttura travi sul pilastro PT	36,38011	[kN]
peso globale carichi permanenti strut. (G ₁)	105,30831	[kN]
peso non strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G ₂)	0,95	[kN/m ²]
peso non strut. Oriz. copertura/m ² (G ₂)	1,05	[kN/m ²]
peso PV /m ² "spalmato" (G ₂)	0,5	[kN/m ²]
peso al piano non strut. Oriz. Piano tipo (G ₂)	67,51	[kN]
peso al piano non strut. Oriz. copertura (G ₂)	74,61	[kN]
peso al piano PV "spalmato" (G ₂)	35,53	[kN]

Peso globale carichi permane. non strut. (G ₂)	177,65	[kN]
--	--------	------

CARICHI VARIABILI q_k RELATIVI ALL'UTILIZZO DELL'EDIFICIO

Il valore dei carichi variabili è mediato tra le due funzioni presenti nell'area di influenza.

larghezza di influenza pilastro (l)	7,48	[m]
larghezza di influenza pilastro (i)	9,5	[m]
superficie che grava sul pilastro (S)	71,06	[m ²]
carichi variabili per i piani tipo/m ² q _{kp}	1,5	[kN/m ²]
carichi al piano variabili unif. distribuiti q _{kp}	106,59	[kN]
carichi variabili per copertura /m ² q _{kc}	2	[kN/m ²]
carichi variabili copertura unif. distribuiti q _{kc}	142,12	[kN]
carichi variabili unif. distribuiti q _k	248,71	[kN]

CARICHI VARIABILI q_s DA NEVE

larghezza di influenza pilastro (l)	7,48	[m]
larghezza di influenza pilastro (i)	9,5	[m]
superficie che grava sul pilastro (S)	71,06	[m ²]
carico variabili da neve/m ² q _s	1,2	[kN/m ²]
carico variabili da neve q _s tot	85,272	[kN]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU - PER PILASTRO CENTRATO - PILASTRO 1M

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

peso globale carichi permanenti strut. (G1)	105,3083	[kN]
Peso globale carichi permrane. non strut. (G2)	177,65	[kN]
carichi variabili piano tipo distribuiti qk tot	106,59	[kN]
carichi variabili copertura distribuiti qkc	142,12	[kN]
carico variabili da neve qs tot	85,272	[kN]
γ_{G1}	1,3	[-]
γ_{G2}	1,5	[-]
γ_{Qi}	1,5	[-]
ψ_0 neve	0,5	[-]
carico sul pilastro centrato SLU (NEd)	840,3948	[kN]

PREDIMENSIONAMENTO PILASTRO CENTRATO - PILASTRO 1M**RESISTENZA DI CALCOLO****4.2.4.1.1 Resistenza di calcolo**

La resistenza di calcolo delle membrature R_d si pone nella forma:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.2.4)$$

dove:

R_k è il valore caratteristico della resistenza – trazione, compressione, flessione, taglio e torsione – della membratura, determinata dai valori caratteristici delle resistenza dei materiali f_{yk} e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti dalla classe della sezione; nel caso in cui si abbiano elementi con sezioni di classe 4 può farsi riferimento alle caratteristiche geometriche “efficaci”, area efficace A_{eff} , modulo di resistenza efficace W_{eff} , modulo di inerzia efficace J_{eff} , valutati seguendo il procedimento indicato in UNI EN1993-1-5. Nel caso di elementi strutturali formati a freddo e lamiere sottili, per valutare le caratteristiche geometriche “efficaci” si può fare riferimento a quanto indicato in UNI EN1993-1-3.

γ_M è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni delle membrature, con riferimento ai modelli di resistenza esposti nella presente normativa ed utilizzando acciai dal grado S 235 al grado S 460 di cui al § 11.3, si adottano i fattori parziali γ_{M0} e γ_{M2} indicati nella Tab. 4.2.V. Il coefficiente di sicurezza γ_{M2} , in particolare, deve essere impiegato qualora si eseguano verifiche di elementi tesi nelle zone di unione delle membrature indebolite dai fori.

Per valutare la stabilità degli elementi strutturali compressi, inflessi e presso-inflessi, si utilizza il coefficiente parziale di sicurezza γ_{M1} .

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40$ mm		40 mm < $t \leq 80$ mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

acciaio scelto	S355 (Fe510)	
tensione di snervamento fyk	355	[N/mm2]
tensione a rottura ftk	510	[N/mm2]

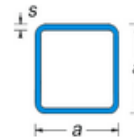
Riduzione snervamento fyk

tensione di snervamento fyk	355	[N/mm2]
γM0	1,05	[-]
snervamento ridotto fyd	338,0952381	[N/mm2]

PREDIMENSIONAMENTO SEZIONE A

$$A = N_{Ed} / f_{yd}$$

carico sul pilastro centrato SLU (N _{Ed})	840,39	[kN]
carico sul pilastro centrato SLU (N _{Ed})	840394,80	[N]
sezione pilastro A	24,85674771	[cm2]



a mm	s mm	Peso kg/m	Sezione metallo cm ²	Momento di inerzia		Modulo di resistenza	
				J cm ⁴	W cm ³		
12	1,5	0,494	0,63	0,118		0,197	
15	1,5	0,636	0,81	0,249		0,332	
20	1,5	0,871	1,11	0,637		0,637	
	2,0	1,130	1,14	0,787		0,787	
25	1,5	1,160	1,41	1,300		1,040	
	2,0	1,530	1,84	1,630		1,310	
30	1,5	1,390	1,72	2,320		1,540	
	2,0	1,820	2,32	2,940		1,960	
	3,0	2,540	3,24	3,990		2,660	
35	2,0	2,115	2,70	4,810		2,790	
	3,0	3,02	3,84	6,610		3,780	
40	2,0	2,42	3,08	7,330		3,670	
	3,0	3,50	4,44	10,00		5,100	
50	2,0	3,03	3,86	14,80		5,910	
	3,0	4,48	5,64	20,80		8,340	
60	2,0	3,65	4,65	26,00		8,680	
	3,0	5,40	6,88	37,10		12,40	
80	2,0	4,93	6,28	63,30		15,80	
	3,0	7,32	9,33	91,40		22,90	
	4,0	9,67	12,2	117,0		29,30	
100	3,0	9,10	11,6	183,0		36,60	
	4,0	12,1	15,4	236,0		47,30	
120	3,0	11,0	14,0	321,0		53,50	
	4,0	14,6	18,6	417,0		69,50	
	5,0	18,1	23,0	508,0		84,70	
150	3,0	14,1	17,8	636,0		84,70	
	4,0	18,7	23,6	831,0		111,0	
	5,0	23,3	29,4	1.017		136,0	
200	3,0	18,6	23,6	1.529		153,0	
	4,0	24,6	31,4	2.008		201,0	
	5,0	30,6	39,0	2.473		247,0	
250	8,0	60,8	77,4	7.967		605,0	
	10	75,4	96,0	9.232		739,0	
300	10	91,1	116	16.279		1.085	
	16	143	182	24.511		1.634	
400	10	122	156	39.572		1.979	
	16	193	246	60.903		3.025	

Lo scatolare quadrato con la sezione che si avvicina di più all'area A è il 200

prima ipotesi pilastro	200	scatolare
------------------------	-----	-----------

CLASSIFICAZIONE SEZIONE - PILASTRO 1M

Per poter adottare il metodo plastico descritto nel punto 4.2.3.2 della NTC è necessario che la sezione della struttura sia della classe 1.

4.2.3.1 Classificazione delle sezioni

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale C_{θ} definita come:

$$C_{\theta} = \vartheta_x / \vartheta_y - 1 \tag{4.2.1}$$

essendo ϑ_x e ϑ_y le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento. Si distinguono le seguenti classi di sezioni:

classe 1 quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al § 4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\theta} \geq 3$

Tabella 4.2.1 - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$

acciaio scelto	S355 (Fe510)
tensione di snervamento f_{yk}	355 [N/mm ²]
tensione a rottura f_{tk}	510 [N/mm ²]

lato al netto dello spessore (c)	234,00 [mm]
spessore lamiera (t)	8,00 [mm]
c/t	29,25 [-]
tensione di snervamento f_{yk}	355 [N/mm ²]
ϵ	0,813616513 [-]
33 ϵ	26,84934494 [-]
classe della sezione	classe 4

Per rispettare i requisiti della classe 1, la dimensione minima che il pilastro deve avere è:

Pilastro scelto	250	scatolare
Momento di inerzia I	7567,00 [cm ⁴]	
lato al netto dello spessore (c)	234,00 [mm]	
spessore lamiera (t)	8,00 [mm]	
Area sezione A	77,40 [cm ²]	

VERIFICA STABILITA' PILASTRO CENTRATO IN COMPRESSIONE - PILASTRO 1M

La verifica della stabilità di un'asta compressa viene fatta all' SLU sul pilastro 250x250

4.2.4.1.3 Stabilità delle membrature**4.2.4.1.3.1 Aste compresse**

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1, \quad (4.2.42)$$

dove

N_{Ed} è l'azione di compressione di calcolo,

$N_{b,Rd}$ è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa, data da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad \text{per le sezioni di classe 1, 2 e 3,} \quad (4.2.43)$$

e da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad \text{per le sezioni di classe 4.} \quad (4.2.44)$$

I coefficienti χ dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$, dalla seguente formula

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad (4.2.45)$$

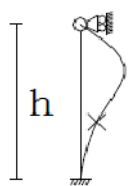
dove $\Phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$, α è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tab 4.2.VI, e la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$ è pari a

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \quad \text{per le sezioni di classe 1, 2 e 3, e a} \quad (4.2.46)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \quad \text{per le sezioni di classe 4.} \quad (4.2.47)$$

CARICO CRITICO N_{cr}

Nel calcolo del carico critico si considera il momento di inerzia I minore della sezione perché a priori non si sa in che direzione si instabilizzerà la sezione.



$l_0 = \frac{h}{\sqrt{2}}$ lo lunghezza di libera inflessione

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

$$(P_{cr} = N_{cr})$$

$$l_0 = \frac{h}{\sqrt{2}} \rightarrow P_{cr} = \frac{2\pi^2 EI}{h^2}$$

modulo elastico acciaio Es	210000000	[kN/m ²]
Momento maggiore di inerzia I	7567,00	[cm ⁴]
Momento maggiore di inerzia I	0,000075670	[m ⁴]
lunghezza pilastro h	3,5	[m]
lunghezza di libera inflessione l ₀	2,45	[m]
Carico critico N _{cr}	51159,492	[kN]

VERIFICA PER VEDERE SE E' NECESSARIA LA VERIFICA DI INSTABILITA'

Nel caso in cui $\bar{\lambda}$ sia minore di 0,2 oppure nel caso in cui la sollecitazione di calcolo N_{Ed} sia inferiore a 0,04N_{cr}, gli effetti legati ai fenomeni di instabilità per le aste compresse possono essere trascurati.

carico sul pilastro centrato SLU (N _{Ed})	840,39	[kN]
Carico critico N _{cr}	51159,49	[kN]
verifica	non necessaria	


SNELLEZZA ADIMENSIONALE $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$$

Area sezione A	77,40	[cm ²]
Area sezione A	0,007740	[m ²]
tensione di snervamento f _{yk}	355	[N/mm ²]
tensione di snervamento f _{yk}	355000	[kN/m ²]
Carico critico N _{cr}	51159,49	[kN]
Snellezza adimensionale	0,23	[-]

FATTORE DI IMPERFEZIONE α

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

Sezione trasversale		Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
				S235, S275, S355, S420	S460
Sezioni cave		Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a ₀
		Sezione formata "a freddo"	qualunque	c	c
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

COEFFICIENTE ϕ

$$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

fattore di imperfezione α	0,21	[-]
Snellezza adimensionale	0,231750961	[-]
coefficiente ϕ	0,530188105	[-]

COEFFICIENTE χ

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1.0$$

coefficiente χ	0,993005918 [-]
---------------------	-----------------

RESISTENZA INSTABILITA' ASTA COMPRESSA $N_{b,Rd}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

coefficiente χ	0,993005918 [-]
Area sezione A	77,40 [cm ²]
Area sezione A	0,00774 [m ²]
tensione di snervamento f_{yk}	355 [N/mm ²]
tensione di snervamento f_{yk}	355000 [kN/m ²]
coefficiente di sicurezza γ_{M1}	1,05 [-]
Resistenza instab. asta compres $N_{b,Rd}$	2598,55463 [kN]

VERIFICA STABILITA' PILASTRO CENTRATO IN COMPRESSIONE

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,$$

carico sul pilastro centrato SLU (N_{Ed})	840,39 [kN]
Resistenza instab. asta compres $N_{b,Rd}$	2598,55 [kN]
$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	0,32 [-]
analisi	verificato

Tutti i pilastri dell'edificio saranno costituiti da profili scatolari 250x250 spessore 8mm

5.10. PROGETTO DEI CONTROVENTI

5.10.1. ANALISI SISMICA

Obiettivo di questa analisi è trovare le azioni orizzontali agenti sulle singole solette (o orizzontamenti) a causa di un evento sismico. L'analisi viene eseguita secondo il metodo illustrato nelle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni nel capitolo 3.2. e 7.3, 7.5 I dati sotto riportati sono stati presi dall'allegato S delle NTC2008. Per il calcolo degli spettri di risposta è stato utilizzato il foglio di calcolo fornito dall'ente responsabile.

TEMPO DI RITORNO PER GLI STATI LIMITE

DATI DEL SITO

città	Carpi	
latitudine	45,7833	gradi N
longitudine	10,8787	gradi E

altri dati	edificio regolare
altri dati	altezza < 40 [m]

PERIODO DI RIFERIMENTO (TEMPO DI RITORNO) V_R

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	> 100

vita nominale V_N	50	anni
coefficiente d'uso C_U	1	[-]
tempo di ritorno V_R	50	anni

VALORI DEI PARAMETRI a_g, F_o, T_C^* PER IL PERIODO DI RITORNO T_R (o V_R) DI RIFERIMENTO

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I risultati sono ottenuti interpolando i valori di riferimento dell'allegato S delle NTC 2008 tramite l'uso del foglio di calcolo fornito dall'ente responsabile:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
10,8787

LATITUDINE
44,78331090

Ricerca per comune

REGIONE
Emilia-Romagna

PROVINCIA
Modena

COMUNE
Carpi

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione:
superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

TR [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,043	2,513	0,249
50	0,054	2,508	0,265
72	0,063	2,493	0,273
101	0,075	2,458	0,275
140	0,090	2,498	0,268
201	0,106	2,572	0,268
475	0,154	2,581	0,270
975	0,206	2,526	0,277
2475	0,294	2,439	0,290

TEMPO DI RITORNO V_R PER GLI STATI LIMITE

TIPOLOGIE DI STATI LIMITE

3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

PROBABILITA' P_{VR} DI SUPERARE IL TEMPO DI RITORNO V_R

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

TEMPO DI RITORNO V_R PER GLI STATI LIMITE

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="60"/>
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="101"/>
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="949"/>
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="1950"/>



STATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC* [s]
SLO	60	0,059	2,500	0,269
SLD	101	0,075	2,458	0,275
SLV	949	0,204	2,528	0,277
SLC	1950	0,268	2,461	0,286

FORMULAZIONE DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA

Per il calcolo della forza orizzontale alla base dell'edificio è necessario trovare lo spettro delle accelerazioni relative allo stato limite considerato.

Lo spettro assume valori diversi a seconda dell'intervallo del periodo considerato

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.2.4}$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle (3.2.4) inoltre

S

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T,
 \tag{3.2.5}$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_o e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 < 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} < 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Fo	2,527771	[-]
ag	0,203506	[g]
g	1	[g]
S _s	1,628375	[-]

Se $S_s < 1,8$, allora considero in ogni caso $S=1,8$

S_T COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

CATEGORIE TOPOGRAFICHE**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

S _s	1,8	[-]
S _T	1	[-]
S	1,8	[-]

η (PER LA COMPONENTE ORIZZONTALE)

ξ (coefficiente di smorzamento viscoso) di solito è considerato ξ=5%. E η=1

In caso contrario si può calcolare η:

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55, \quad (3.2.6)$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

Se gli stati limite SL non vengono calcolati con opportuni accelerogrammi, allora si calcola η:

$$\eta = 1/q$$

q FATTORE DI STRUTTURA

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (7.3.1)$$

q₀ VALORE MASSIMO DEL FATTORE DI STRUTTURA**7.4.3.2 Fattori di struttura**

Il fattore di struttura da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica orizzontale è calcolato come riportato nel § 7.3.1.

I massimi valori di q₀ relativi alle diverse tipologie ed alle due classi di duttilità considerate (CD"A" e CD"B") sono contenuti nella tabella seguente.

Tabella 7.4.1 – Valori di q₀

Tipologia	q ₀	
	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	3,0 α _u /α ₁	4,5 α _u /α ₁
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	4,0 α _u /α ₁
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

TIPOLOGIE STRUTTURALI

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di α_u/α₁:

a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

- strutture a telaio di un piano α_u/α₁ = 1,1
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata α_u/α₁ = 1,2
- strutture a telaio con più piani e più campate α_u/α₁ = 1,3

b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale α_u/α₁ = 1,0
- altre strutture a pareti non accoppiate α_u/α₁ = 1,1
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti α_u/α₁ = 1,2

CLASSI DI DUTTILITA' CD

- Classe di duttilità alta (CD"A");
- Classe di duttilità bassa (CD"B").

q_0	5,4	[-]
K_w	1	[-]
q	5,4	[-]
ξ	5	[-]
η	1	[-]

η PER LA COMPONENTE VERTICALE

Per la componente verticale non sono presenti opportuni accelerogrammi, η viene quindi calcolato come:

$$\eta = 1/q$$

q PER LA COMPONENTE VERTICALE

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è $q = 1,5$ per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

q	1,5	[-]
η	0,666667	[-]

T_C PERIODO CORRISPONDENTE ALLA PARTE INIZIALE DELLO SPETTRO A VELOCITA' COSTANTE

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \tag{3.2.7}$$

dove T_C^* è definito al § 3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);

C_C COEFFICIENTE IN FUNZIONE DEL SOTTOSUOLO

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B, C, D** ed **E** i coefficienti S_s e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_C

Categoria sottosuolo	S_s	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,10 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

T_C^*	0,277183	[s]
C_C	2,374251	[-]
T_C	0,658102	[s]

T_B PERIODO CORRISPONDENTE ALLA PARTE INIZIALE DELLO SPETTRO AD ACCEL. COSTANTE

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

$$T_B = T_C / 3, \quad (3.2.8)$$

T _C	0,658102 [s]
T _B	0,219367 [s]

T_D PERIODO CORRISPONDENTE ALLA PARTE INIZIALE DELLO SPETTRO A SPOSTAMENTO COST.

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

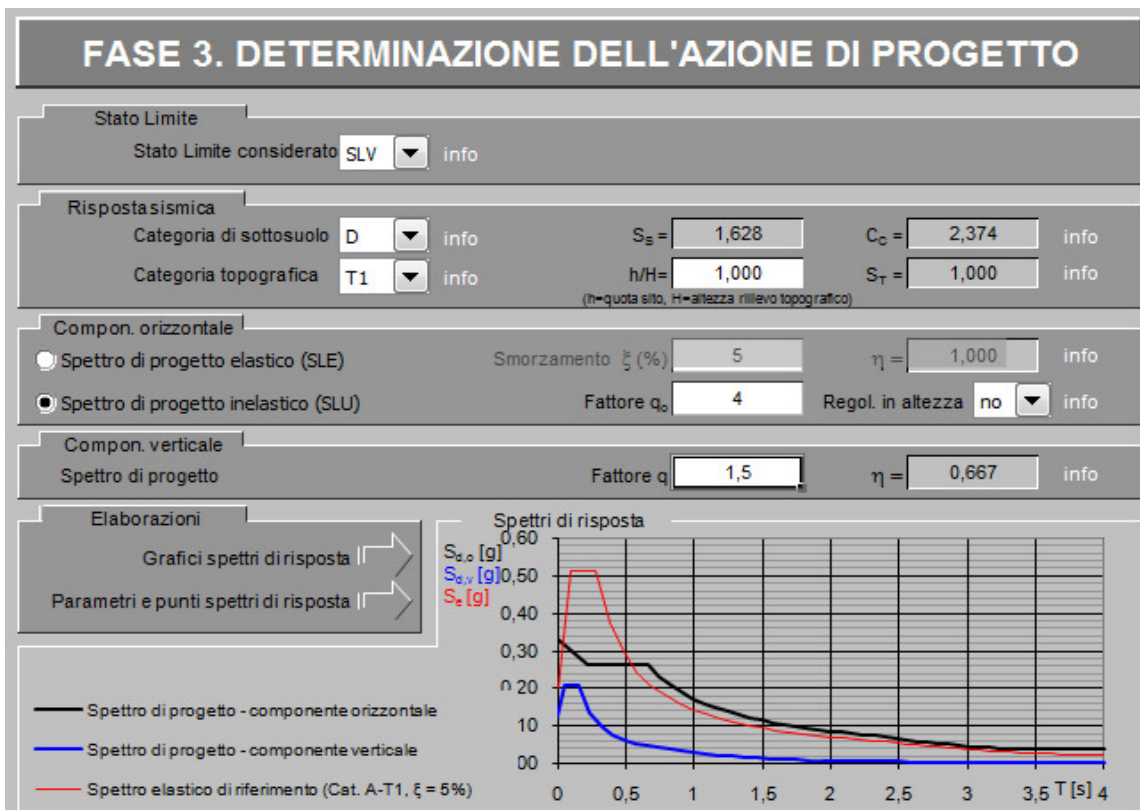
$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad (3.2.9)$$

a _g	0,203506 [g]
g	1 [g]
T _D	2,414024 [s]

SPETTRO DI PROGETTO INELASTICO

Per l'analisi dell'azione sismica per lo SLU va considerato uno spettro di risposta inelastico che tiene conto del fattore di struttura q₀ che smorza il valore dell'azione sismica.

Gli Stati Limite che vengono analizzati sono SLO e SLV



FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLO** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **D** info

$S_B = 1,800$

$C_C = 2,408$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 1,000$

$S_T = 1,000$ info

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1,000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o **4**

Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1,5**

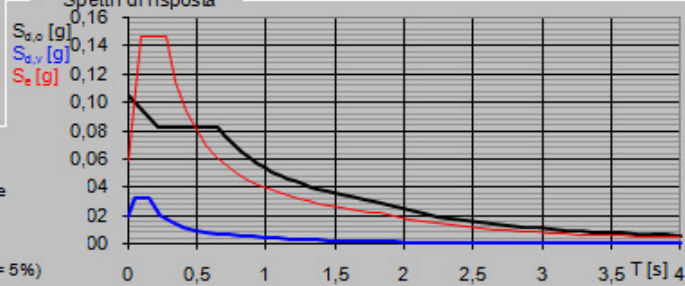
$\eta = 0,667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



- Spettro di progetto - componente orizzontale
- Spettro di progetto - componente verticale
- Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

SPETTRO DI RISPOSTA PER SLV

Vengono applicate le formule descritte nel foglio precedente.
 Per la determinazione dei periodi non noti viene fatta un'interpolazione tra quelli noti.

COMPONENTI ORIZZONTALI

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,204 g
F_o	2,528
T_C^*	0,277 s
S_S	1,628
C_C	2,374
S_T	1,000
q	5,400

Parametri dipendenti

S	1,628
η	0,185
T_B	0,219 s
T_C	0,658 s
T_D	2,414 s

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,331
$T_B \leftarrow$	0,219	0,155
$T_C \leftarrow$	0,658	0,155
	0,742	0,138
	0,825	0,124
	0,909	0,112
	0,993	0,103
	1,076	0,095
	1,160	0,088
	1,243	0,082
	1,327	0,077
	1,411	0,072
	1,494	0,068
	1,578	0,065
	1,661	0,061
	1,745	0,058
	1,829	0,056
	1,912	0,053
	1,996	0,051
	2,080	0,049
	2,163	0,047
	2,247	0,045
	2,330	0,044
$T_D \leftarrow$	2,414	0,042
	2,490	0,041
	2,565	0,041
	2,641	0,041
	2,716	0,041
	2,792	0,041
	2,867	0,041
	2,943	0,041
	3,018	0,041
	3,094	0,041
	3,169	0,041
	3,245	0,041
	3,320	0,041
	3,396	0,041
	3,471	0,041
	3,547	0,041
	3,622	0,041

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

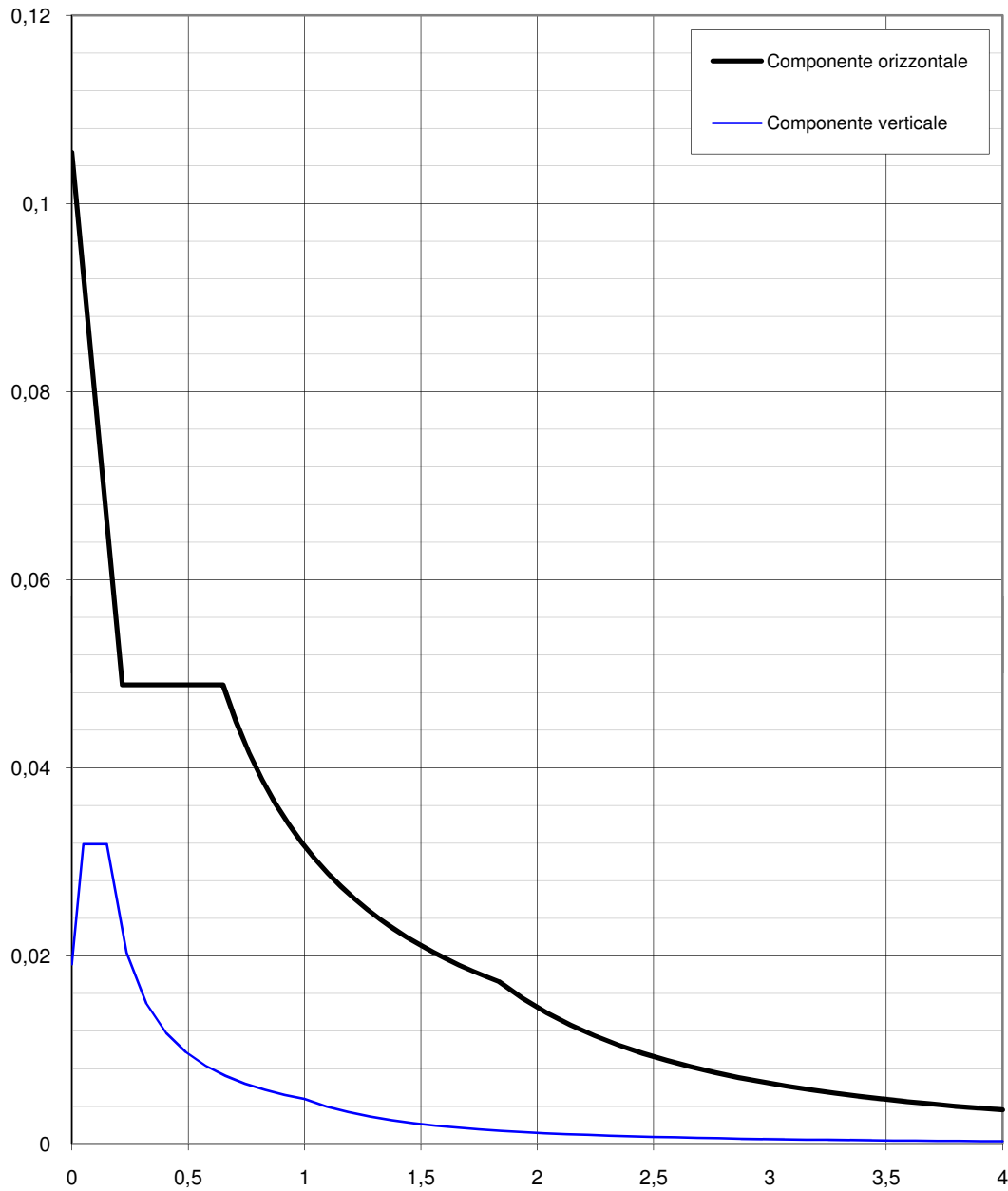
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

3,698	0,041
3,773	0,041
3,849	0,041
3,924	0,041
4,000	0,041

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

GRAFICI DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA ORIZZONTALI E VERTICALI PER SLV



SPETTRO DI RISPOSTA PER SLO

Vengono applicate le formule descritte nel foglio precedente.
 Per la determinazione dei periodi non noti viene fatta un'interpolazione tra quelli noti.

COMPONENTI ORIZZONTALI

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,059 g
F_o	2,500
T_C^*	0,269 s
S_S	1,800
C_C	2,408
S_T	1,000
q	5,400

Parametri dipendenti

S	1,800
η	0,185
T_B	0,216 s
T_C	0,649 s
T_D	1,834 s

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,105
$T_B \leftarrow$	0,216	0,049
$T_C \leftarrow$	0,649	0,049
	0,705	0,045
	0,762	0,042
	0,818	0,039
	0,875	0,036
	0,931	0,034
	0,988	0,032
	1,044	0,030
	1,100	0,029
	1,157	0,027
	1,213	0,026
	1,270	0,025
	1,326	0,024
	1,383	0,023
	1,439	0,022
	1,496	0,021
	1,552	0,020
	1,608	0,020
	1,665	0,019
	1,721	0,018
	1,778	0,018
$T_D \leftarrow$	1,834	0,017
	1,937	0,015
	2,041	0,014
	2,144	0,013
	2,247	0,012
	2,350	0,011
	2,453	0,010
	2,556	0,009
	2,659	0,008
	2,762	0,008
	2,866	0,007
	2,969	0,007
	3,072	0,006
	3,175	0,006
	3,278	0,005
	3,381	0,005
	3,484	0,005

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

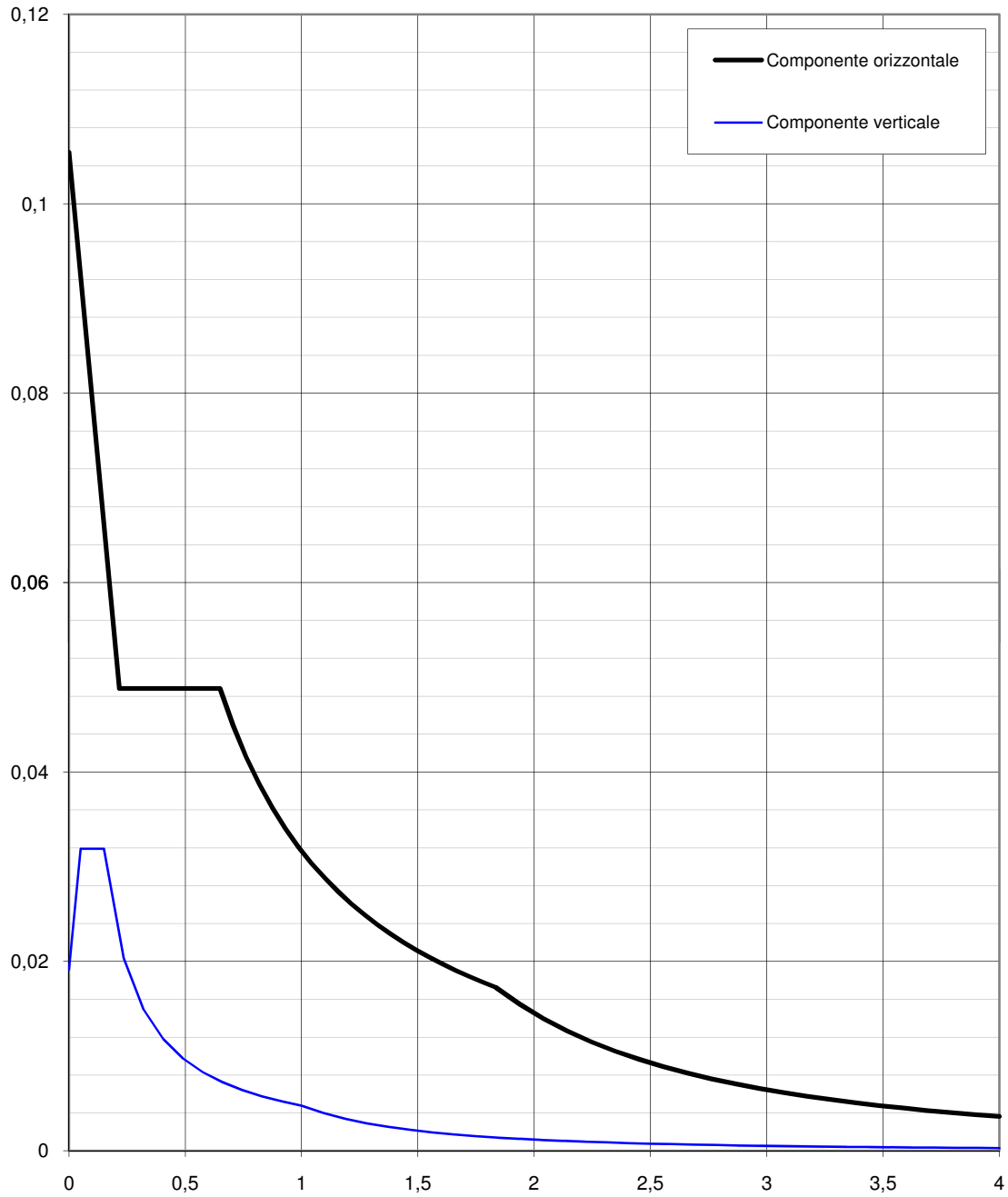
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

3,587	0,005
3,691	0,004
3,794	0,004
3,897	0,004
4,000	0,004

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

GRAFICI DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA ORIZZONTALI E VERTICALI PER SLO



CARICHI PERMANENTI W (trovati da G₁ e G₂) UFFICI

Perimetro piano 1 (2p)	150,00	[m]	
Area piano 1 (A)	956,00	[m ²]	
Perimetro piano 2 (2p)	179,00	[m]	
Area piano 2 (A)	1288,00	[m ²]	
Perimetro copertura (2p)	179,00	[m]	
Area copertura (A)	1458,00	[m ²]	
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G ₁)	0,67	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso strut. Oriz. copertura/m ² (G ₁)	0,37	[kN/m ²]	
peso travi in acciaio P1 (G ₁)	200,70	[kN]	
peso travi in legno P2 (G ₁)	113,20	[kN]	
peso travi in legno copertura (G ₁)	124,00	[kN]	
peso pilastri P1-P2 (G ₁)	158,30	[kN]	
peso strut. Oriz. Piano 1 (G ₁)	841,22	[kN]	
peso strut. Oriz. Piano 2 (G ₁)	976,16	[kN]	
peso strut. Oriz. copertura (G ₁)	663,46	[kN]	
peso globale carichi permanenti strut. (G ₁)	2639,14	[kN]	
peso non strut. Oriz. Piano 1/m ² (G ₂)	0,93	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso non strut. Oriz. Piano 2/m ² (G ₂)	1,14	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso non strut. Oriz. copertura/m ² (G ₂)	0,22	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso non strut. P1 CV/m (G ₂)	4,40	[kN/m]	MEDIA PESATA
peso non strut. P2 CV/m (G ₂)	5,14	[kN/m]	MEDIA PESATA
peso PV tra locali/m ² P1"spalmato" (G ₂)	0,50	[kN/m ²]	
peso PV tra locali/m ² P2"spalmato" (G ₂)	0,40	[kN/m ²]	
peso non strut. Oriz. Piano 1 (G ₂)	889,08	[kN]	
peso non strut. Oriz. Piano 2 (G ₂)	1468,32	[kN]	
peso non strut. Oriz. copertura (G ₂)	320,76	[kN]	
peso non strut. CV P1 (G ₂)	660,00	[kN]	
peso non strut. CV P2 (G ₂)	920,06	[kN]	
peso PV tra locali P1 (G ₂)	478,00	[kN]	
peso PV tra locali P2 (G ₂)	515,20	[kN]	
Peso globale carichi permane. non strut. (G ₂)	5251,42	[kN]	

PESO DEGLI ELEMENTI - EDIFICIO UFFICI

Peso globale Oriz. Piano 1 (W)	1730,30	[kN]
Peso globale Oriz. Piano 2 (W)	2444,48	[kN]
Peso globale Oriz. copertura (W)	984,22	[kN]
Peso CV Piano 1 (W)	660,00	[kN]
Peso CV Piano 2 (W)	920,06	[kN]
Peso PV Piano 1 (W)	478,00	[kN]
Peso PV Piano 2 (W)	515,20	[kN]

CARICHI PERMANENTI W (trovati da G₁ e G₂) MAGAZZINO

Perimetro piano 1 (2p)	152,60	[m]	
Area piano 1 (A)	376,00	[m ²]	
Perimetro copertura (2p)	167,00	[m]	
Area copertura (A)	1930,00	[m ²]	
peso strut. Oriz. Piano tipo/m ² (G ₁)	0,75	[kN/m ²]	
peso strut. Oriz. copertura/m ² (G ₁)	0,37	[kN/m ²]	
peso travi in acciaio P1 (G ₁)	118,50	[kN]	
peso travi in legno copertura (G ₁)	649,50	[kN]	
peso pilastri P1 (G ₁)	183,40	[kN]	
peso strut. Oriz. Piano 1 (G ₁)	400,50	[kN]	
peso strut. Oriz. copertura (G ₁)	1363,60	[kN]	
peso globale carichi permanenti strut. (G ₁)	1947,50	[kN]	
peso non strut. Oriz. Piano 1/m ² (G ₂)	0,95	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso non strut. Oriz. copertura/m ² (G ₂)	0,72	[kN/m ²]	MEDIA PESATA
peso non strut. P1 CV/m (G ₂)	2,42	[kN/m]	MEDIA PESATA
peso non strut. copertura CV/m (G ₂)	0,89	[kN/m]	MEDIA PESATA
peso PV tra locali/m ² P1"spalmato" (G ₂)	0,50	[kN/m ²]	
peso non strut. Oriz. Piano 1 (G ₂)	357,20	[kN]	
peso non strut. Oriz. copertura (G ₂)	1389,60	[kN]	
peso non strut. CV P1 (G ₂)	369,39	[kN]	
peso non strut. CV copertura (G ₂)	148,63	[kN]	
peso PV tra locali P1 (G ₂)	188,00	[kN]	
Peso globale carichi permane. non strut. (G ₂)	2452,82	[kN]	

PESO DEGLI ELEMENTI - EDIFICIO MAGAZZINO

Peso globale Oriz. Piano 1 (W)	757,70	[kN]
Peso globale Oriz. copertura (W)	2753,20	[kN]
Peso CV Piano 1 (W)	369,39	[kN]
Peso CV copertura (W)	148,63	[kN]
Peso PV Piano 1 (W)	188,00	[kN]

CARICHI VARIABILI q_k RELATIVI ALL'UTILIZZO DELL'EDIFICIO UFFICI

Area piano 1 (A)	956,00	[m ²]
Area piano 2 (A)	1288,00	[m ²]
Area lucernari	294,50	[m ²]
Area copertura al netto dei lucernari (A)	1163,50	[m ²]
carichi variabili P1 q_k	4	[kN/m ²]
carichi variabili P2 q_k	2	[kN/m ²]
carichi copertura non praticabile q_k	0,5	[kN/m ²]
carichi variabili unif. Distribuiti P1 q_k	3824,00	[kN]
carichi variabili unif. Distribuiti P2 q_k	2576,00	[kN]
carichi variabili unif. Distribuiti copertura q_k	581,75	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	6981,75	[kN]

CARICHI VARIABILI q_k RELATIVI ALL'UTILIZZO DELL'EDIFICIO MAGAZZINO

Area piano 1 (A)	376,00	[m ²]
Area copertura praticabile (A)	1381,00	[m ²]
Area lucernari	115,00	[m ²]
Area copertura non praticabile (A)	434,00	[m ²]
carichi variabili P1 q_k	2	[kN/m ²]
carichi copertura praticabile q_k	2	[kN/m ²]
carichi copertura non praticabile q_k	0,5	[kN/m ²]
carichi variabili unif. Distribuiti P1 q_k	752,00	[kN]
carichi variabili unif. Distribuiti copertura q_k	2979,00	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	3731,00	[kN]

CARICHI VARIABILI q_s - CARICO DA NEVE UFFICI

Area copertura (A)	1458,00	[m ²]
carico variabili da neve/m ² q_s	1,2	[kN/m ²]
carico variabili da neve q_s tot	1749,60	[kN]

CARICHI VARIABILI q_s - CARICO DA NEVE MAGAZZINO

Area copertura (A)	1930,00	[m ²]
carico variabili da neve/m ² q_s	1,2	[kN/m ²]
carico variabili da neve q_s tot	2316,00	[kN]

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - PER L'AZIONE SISMICA EDIFICIO UFFICI

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Quando devo inserire le Q_{ki} nelle diverse combinazioni, devo inserire prima quella piú grande e poi le altre in ordine decrescente.

Le azioni variabili vengono moltiplicate per il coefficiente Ψ_2 relativo alla loro categoria (vedi tabella 2.5.I).

PIANO 1

peso globale carichi permanenti strut. (G_1)	841,22	[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G_2)	2027,08	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	3824,00	[kN]
carico variabili da neve q_s tot	0,00	[kN]
Ψ_2 carichi uniformemente distribuiti	0,6	[-]
Ψ_2 neve	0	[-]
carico per azione sismica per SLU e SLE (W)	5162,7	[kN]

PIANO 2

peso globale carichi permanenti strut. (G_1)	976,16	[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G_2)	2903,58	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	2576,00	[kN]
carico variabili da neve q_s tot	0,00	[kN]
Ψ_2 carichi uniformemente distribuiti	0,3	[-]
Ψ_2 neve	0	[-]
carico per azione sismica per SLU e SLE (W)	4652,54	[kN]

COPERTURA

peso globale carichi permanenti strut. (G_1)	663,46	[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G_2)	320,76	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	581,75	[kN]
carico variabili da neve q_s tot	1749,6	[kN]
Ψ_2 carichi uniformemente distribuiti	0	[-]
Ψ_2 neve	0	[-]
carico per azione sismica per SLU e SLE (W)	984,22	[kN]

Carico SLU SLE totale	10799,46	[kN]
-----------------------	----------	------

COMBINAZIONE DI CARICO - SLU e SLE - PER L'AZIONE SISMICA EDIFICIO MAGAZZINO

PIANO 1

peso globale carichi permanenti strut. (G_1)	400,50	[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G_2)	914,59	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	752,00	[kN]
carico variabili da neve q_s tot	0,00	[kN]
Ψ_2 carichi uniformemente distribuiti	0,3	[-]
Ψ_2 neve	0	[-]
carico per azione sismica per SLU e SLE (W)	1540,686	[kN]

COPERTURA

peso globale carichi permanenti strut. (G_1)	1363,60	[kN]
Peso globale carichi permane. non strut. (G_2)	1538,23	[kN]
carichi variabili uniformemente distribuiti q_k tot	2979,00	[kN]
carico variabili da neve q_s tot	2316,00	[kN]
Ψ_2 carichi uniformemente distribuiti	0	[-]
Ψ_2 neve	0	[-]
carico per azione sismica per SLU e SLE (W)	2901,83	[kN]

Carico SLU SLE totale	4442,52	[kN]
-----------------------	---------	------

FORZA ORIZZONTALE ALLA BASE DELL'EDIFICIO**ANALISI STATICA**

L'analisi statica viene condotta a partire dalle indicazioni contenute nella NTC2008 capitolo 7.3.3.2. L'edificio è infatti regolare in pianta, ha un'altezza inferiore ai 40m e i pesi sono equamente distribuiti in altezza. È dunque possibile calcolare il periodo di vibrazione T_1 secondo la procedura seguente.

requisiti:	edificio regolare in altezza
	altezza < 40 m
	$T_1 < 2,5 * T_C$
	$T_1 < T_D$

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} \quad (7.3.5)$$

dove: H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e **0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.**

UFFICI

C_{1UFF}	0,05	[s/m]
H	12	[m]
T_1	0,32237098	[s]

MAGAZZINO

C_{1MAG}	0,05	[s/m]
H	8	[m]
T_1	0,23784142	[s]

 S_d VALORE CORRISPONDENTE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA PER SLV

Dopo aver trovato il valore T_1 si può trovare nel foglio precedente lo spettro di risposta S_d (che equivale ad una accelerazione). Se non esiste un valore che si avvicina al T_1 trovato procederemo all'interpolazione dei valori dell'intervallo fino a trovare un valore S_d corrispondente.

UFFICI

T_1	0,32237098	[s]
S_d SLV	0,15512278	[g]

MAGAZZINO

T_1	0,23784142	[s]
S_d SLV	0,15512278	[g]

 S_d VALORE CORRISPONDENTE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA PER SLO

UFFICI

T_1	0,32237098	[s]
S_d SLV	0,04881309	[g]

MAGAZZINO

T_1	0,23784142	[s]
S_d SLV	0,04881309	[g]

F_h FORZA ORIZZONTALE ALLA BASE DELL'EDIFICIO per SLV e SLO

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;

W è il peso complessivo della costruzione;

λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2T_c$, pari a 1.0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità.

UFFICI

S_d SLV	0,15512278	[g]
S_d SLO	0,04881309	[g]
Peso della costruzione W	10799,46	[kN]
λ	0,85	[-]
g	1	[g]
F_h SLV	1423,95595	[kN]
F_h SLO	448,081724	[kN]

MAGAZZINO

S_d SLV	0,15512278	[g]
S_d SLO	0,04881309	[g]
Peso della costruzione W	4442,51623	[kN]
λ	1	[-]
g	1	[g]
F_h SLV	689,135481	[kN]
F_h SLO	216,852926	[kN]

F_i FORZA ORIZZONTALE RELATIVA AD OGNI ORIZZONTAMENTO (PIANO) per SLV e SLO

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot W_i / \sum_j z_j W_j \quad (7.3.6)$$

dove:

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

F_i è la forza da applicare alla massa i -esima;

W_i e W_j sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j ;

z_i e z_j sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j ;

z_i QUOTE DEI SINGOLI ORIZZONTAMENTI

quota PT	0	[m]
quota P1	3,45	[m]
quota P2	7,8	[m]
quota copertura	11,8	[m]

N.B: si calcola la quota a partire dal livello o del terreno, non dal livello del magrone, perché si considera che tutto ciò che è interrato si muova in maniera solidale col terreno. Per lo stesso motivo non ha senso calcolare il peso della soletta che non grava sulla struttura e in più si muove col terreno.

PESO DEGLI ELEMENTI - UFFICI

Peso globale Oriz. Piano 1 (W)	1730,30	[kN]
Peso globale Oriz. Piano 2 (W)	2444,48	[kN]
Peso globale Oriz. copertura (W)	984,22	[kN]
Peso CV Piano 1 (W)	660,00	[kN]
Peso CV Piano 2 (W)	920,06	[kN]
Peso PV Piano 1 (W)	478,00	[kN]
Peso PV Piano 2 (W)	515,20	[kN]

W_i PESO SUI SINGOLI ORIZZONTAMENTI - UFFICI

peso P1	2868,30	[kN]
peso P2	3879,74	[kN]
peso copertura	984,22	[kN]

F_i FORZA ORIZZONTALE RELATIVA AD OGNI ORIZZONTAMENTO (PIANO) per SLV - UFFICI

F _n SLV	1423,96	[kN]	
z _j W _j P1	9895,64	[m*kN]	
z _j W _j P2	30261,972	[m*kN]	
z _j W _j copertura	11613,796	[m*kN]	
Σz _j W _j edificio	51771,403	[m*kN]	
F _i Piano 1	272,176288	[kN]	
F _i Piano 2	832,3459	[kN]	
F _i Copertura	319,433759	[kN]	
ΣF _i	1423,95595	[kN]	verificato

F_i FORZA ORIZZONTALE RELATIVA AD OGNI ORIZZONTAMENTO (PIANO) per SLO - UFFICI

F _n SLO	448,08	[kN]	
z _j W _j P1	9895,64	[m*kN]	
z _j W _j P2	30261,97	[m*kN]	
z _j W _j copertura	11613,80	[m*kN]	
Σz _j W _j edificio	51771,403	[m*kN]	
F _i Piano 1	85,646765	[kN]	
F _i Piano 2	261,917502	[kN]	
F _i Copertura	100,517456	[kN]	
ΣF _i	448,081724	[kN]	verificato

PESO DEGLI ELEMENTI - MAGAZZINO

Peso globale Oriz. Piano 1 (W)	757,70	[kN]
Peso globale Oriz. copertura (W)	2753,20	[kN]
Peso CV Piano 1 (W)	369,39	[kN]
Peso CV copertura (W)	148,63	[kN]
Peso PV Piano 1 (W)	188,00	[kN]

W_i PESO SUI SINGOLI ORIZZONTAMENTI - MAGAZZINO

peso P1	1315,09	[kN]
peso copertura	2901,83	[kN]

F_i FORZA ORIZZONTALE RELATIVA AD OGNI ORIZZONTAMENTO (PIANO) SLV - MAGAZZINO

F _n SLV	689,14	[kN]	
z _j W _j P1	4537,05	[m*kN]	
z _j W _j copertura	22634,27	[m*kN]	
Σ _j z _j W _j edificio	27171,32	[m*kN]	
F _i Piano 1	115,071341	[kN]	
F _i Copertura	574,06414	[kN]	
ΣF _i	689,135481	[kN]	verificato

F_i FORZA ORIZZONTALE RELATIVA AD OGNI ORIZZONTAMENTO (PIANO) SLO - MAGAZZINO

F _n SLO	216,85	[kN]	
z _j W _j P1	4537,05	[m*kN]	
z _j W _j copertura	22634,27	[m*kN]	
Σ _j z _j W _j edificio	27171,32	[m*kN]	
F _i Piano 1	36,2099439	[kN]	
F _i Copertura	180,642983	[kN]	
ΣF _i	216,852926	[kN]	verificato

Le forze trovate verranno usate per dimensionare i setti di controvento.

5.10.2. EFFETTI DEL MARTELLAMENTO SISMICO

Il “martellamento sismico” è quel fenomeno che si manifesta quando la distanza di separazione tra due edifici adiacenti non è abbastanza grande per assicurare il moto relativo delle strutture durante il verificarsi dei terremoti. Il modo più semplice per ovviare al danneggiamento dovuto a questo fenomeno è quello di provvedere alla valutazione, in fase di progetto, di un'adeguata distanza di separazione, tale da assecondare opportunamente i rispettivi movimenti delle strutture che oscillano in opposizione di fase.

Il nostro progetto è formato da due parti indipendenti non solo dal punto di vista architettonico, ma anche strutturale, infatti in prossimità dell'intersezione dei due volumi è stata raddoppiata la struttura. I corpi rispondono in maniera differente alle sollecitazioni sismiche o possono subire danni legati alle conseguenti oscillazione.

Per evitare questo pericoloso fenomeno, le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono che la distanza tra due costruzioni contigue non sia inferiore alla somma degli spostamenti massimi orizzontali calcolati per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e, in ogni caso, non inferiore a:

$$d > \frac{\alpha h}{100}$$

dove:

- d è la distanza di sicurezza da mantenere
- h è l'altezza dell'edificio a partire dalla quota di fondazioni
- α è un coefficiente di rischio sismico pari a

$$\alpha = \frac{a_g S}{0,5g} \leq 1$$

dove:

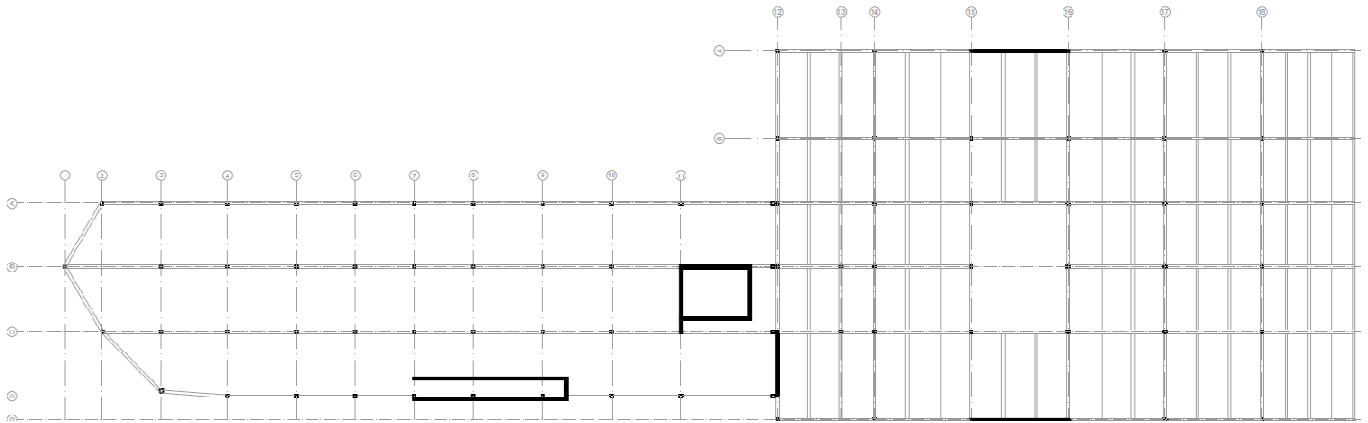
- a_g è l'accelerazione orizzontale massima al suolo causata dal sisma
- S è un coefficiente di caratterizzazione sismica che tiene conto delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del terreno
- g è l'accelerazione di gravità.

Nella peggiore delle ipotesi si può considerare $\alpha = 1$, in questo caso risulta $\alpha = 0,74$ quindi la distanza da tenere tra i due corpi è di 14 cm.

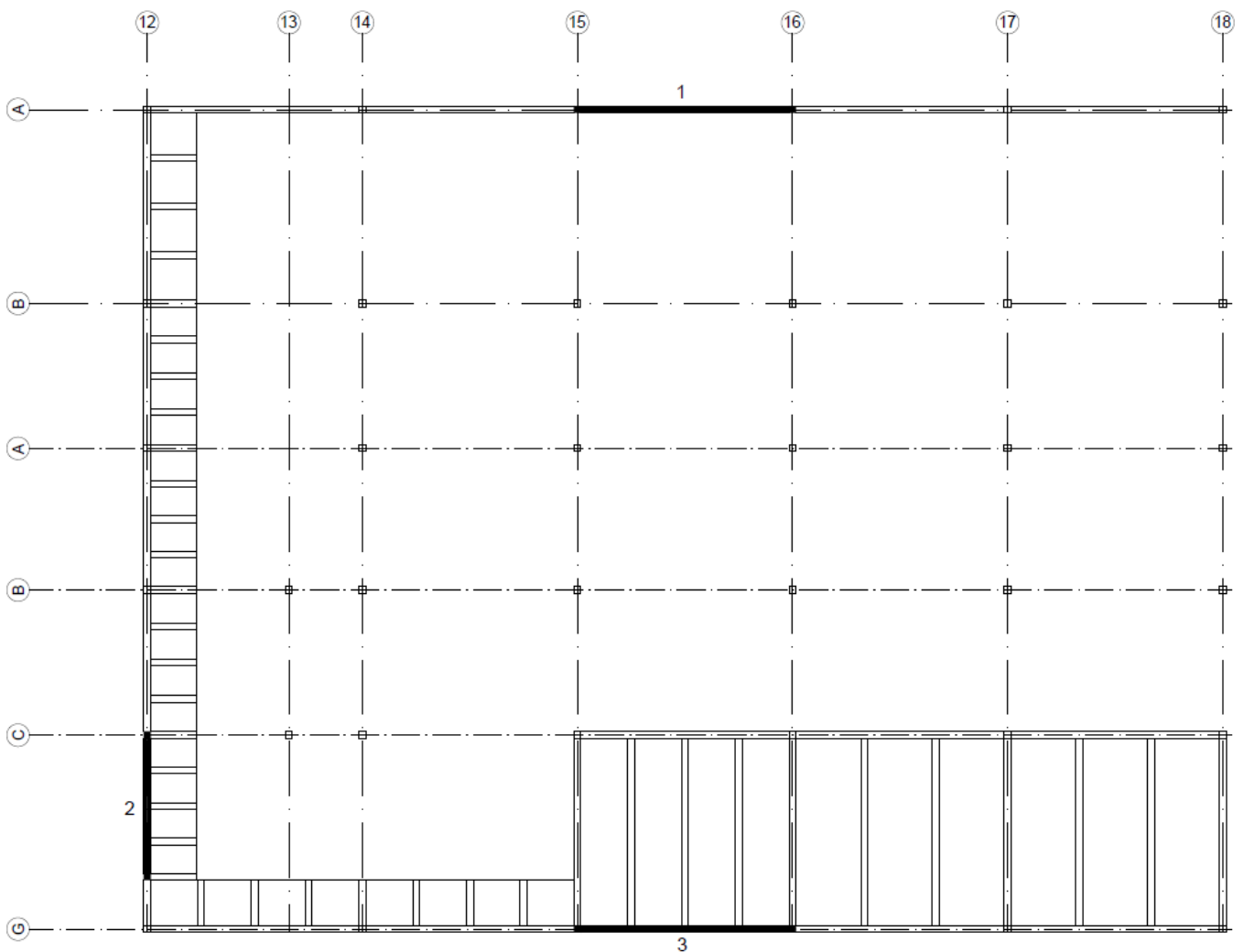
5.10.3. DIMENSIONAMENTO DEI SETTI

Avendo due corpi indipendenti è stato necessario pensare anche due sistemi di controvento: quello del corpo direzione è formato dai due nuclei scala, è quindi un sistema iperstatico con setti in cemento armato; quello del corpo produzione è invece isostatico, composto quindi da tre setti con strutture diverse. Quelli rivolti a nord e ad ovest sono in cemento armato; quello a sud è invece con una struttura in acciaio, avendo sul prospetto la necessità di aprire delle luci.

Essendo isostatico la distribuzione delle forze orizzontali, date dall'azione del vento e del sisma, non ha comportato difficoltà associate alle diverse rigidzze legate alla composizione strutturale. L'insieme dei controventi non è stato quindi studiato come un sistema di molle, cosa invece necessaria per la configurazione iperstatica nel corpo direzione.



Si illustra ora lo studio fatto sui controventi del corpo produzione, ed in particolare sul setto due:



La procedura applicata è la seguente:

- Ipotesi della disposizione sulla pianta di un piano tipo
- Determinazione dei carichi verticali per le combinazioni di carico 1 e 2
- Confronto del taglio alla base dei controventi

- Ripartizione delle forze orizzontali sui diversi controventi
- Predimensionamento del setto
- Predimensionamento dell'armatura
- Determinazione degli sforzi assiali e dei momenti agenti
- Determinazione dell'asse neutro per lo stato limite di esercizio
- Verifica allo stato limite di esercizio su tutte le sezioni sollecitate
- Determinazione dell'asse neutro per lo stato limite ultimo
- Verifica allo stato limite ultimo su tutte le sezioni sollecitate
- Dimensionamento delle armature trasversali.

Si riportano le tabelle della distribuzione dei carichi orizzontali e i grafici delle verifiche allo stato limite ultimo per la sezione più sollecitata. Per il calcolo completo del controvento 2 si rimanda al relativo allegato.

COMBINAZIONI DI CARICO CONSIDERATE

Si eseguono le combinazioni di carico allo SLU e SLE. Di seguito le formule prese dalle NTC

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

Come si nota l'azione variabile più gravosa non ha coefficienti riduttivi, mentre lo hanno quelle meno gravose. In questo caso le azioni variabili sono date dall'azione del vento, dai carichi per l'utilizzo dell'edificio, dalla neve in copertura. La spinta del vento genera un momento che scaricandosi sulla struttura del controvento incrementa l'azione assiale nell'estremo compresso, i carichi dati dall'utilizzo aumentano anch'essi direttamente l'azione assiale. Per poter fare uno studio corretto del controvento bisognerebbe fare due casi di combinazioni: uno in cui si considera più gravoso il carico per l'utilizzo, l'altro in cui lo è invece l'azione del vento.

Verrà chiamata la combinazione che massimizza il carico per l'utilizzo 1 e quella che massimizza la spinta del vento 2.

Si calcolano le diverse combinazioni di carico, si trovano i carichi effettivi sui diversi elementi e si considera di volta in volta il carico più gravoso.

CONFRONTO DEL TAGLIO ALLA BASE E ANALISI DELLE COMBINAZIONI DA UTILIZZARE

Nel dimensionamento dei controventi viene utilizzata la forza più grande orizzontale tra quella del vento e quella sismica. Per operare il confronto si osservano i valori di taglio alla base dell'edificio, esercitato dalle due azioni, in tutte le combinazioni analizzata. Poichè il taglio alla base dell'azione sismica è costante sia per la combinazione 1 che per la 2 e sia per la facciata maggiore che per la minore, si considererà per il confronto solamente la spinta del vento per la maggiore delle combinazioni ovvero la 2.

	Facciata maggiore				Facciata minore				
	SLU 1	SLE 1	SLU 2	SLE 2	SLU 1	SLE 1	SLU 2	SLE 2	
vento	269	179	448	299	196	130	326	217	[kN]
sisma	689	216	689	216	689	216	689	216	[kN]
combinazione considerata	sisma	sisma	sisma	vento	sisma	sisma	sisma	vento	
Piano	CARICHI DA UTILIZZARE NELLE DIVERSE COMPOSIZIONI								
copertura	574	180	574	88	574	180	574	64	[kN]
1°	115	36	115	149	115	36	115	109	[kN]
terra	0	0	0	61	0	0	0	45	[kN]

Allo SLU l'azione sismica è sempre maggiore. Verrà quindi considerata solo la combinazione di carico 1. Allo SLE invece per la composizione 1 è preponderante l'azione sismica, mentre per la 2 è preponderante quella del vento. In questo caso si analizzerà il comportamento della struttura in entrambe le situazioni e verranno presi i valori più gravosi agenti sui singoli elementi.

RIPARTIZIONE CARICHI SUI CONTROVENTI

SLU 1

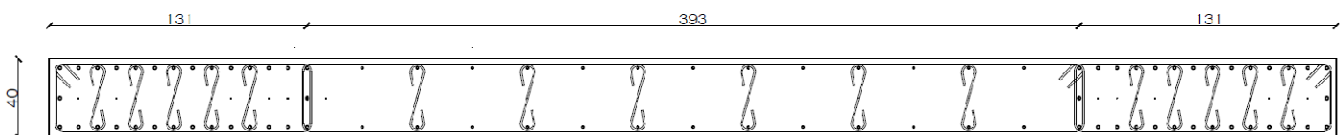
Piano	F _{magg}	F ₁ = F ₃	F _{min}	b	h	F ₂	F' ₁ = F' ₃	F ₂	F ₁ = F ₃	
copertura	574	287	574	23,9	36,45	574	376	574	376	[kN]
1°	115	58	115			115	75	115	75	[kN]
terra	0	0	0			0	0	0	0	[kN]

SLE 1

Piano	F _{magg}	F ₁ = F ₃	F _{min}	b	h	F ₂	F' ₁ = F' ₃	F ₂	F ₁ = F ₃	
copertura	180	90	180	23,9	36,45	180	118	180	118	[kN]
1°	36	18	36			36	24	36	24	[kN]
terra	0	0	0			0	0	0	0	[kN]

SLE 2

Piano	F _{magg}	F ₁ = F ₃	F _{min}	b	h	F ₂	F' ₁ = F' ₃	F ₂	F ₁ = F ₃	
copertura	88	44	64	23,9	36,45	64	42	64	44	[kN]
1°	149	75	109			109	71	109	75	[kN]
terra	61	31	45			45	29	45	31	[kN]



VERIFICA SLU**PROCEDIMENTO OPERATIVO**

Vi sono due diversi procedimenti operativi ugualmente validi: uno è il procedimento grafico, l'altro è quello analitico. Il procedimento grafico consiste nel tracciare su un grafico N-M i valori limite di resistenza definiti dalle rette di deformazione delle diverse configurazioni date dalla posizione dell'asse neutro, che definiscono la curva delle resistenze e verificare che i punti di coordinate $(N_{Ed}; M_{Ed})$ cadano all'interno di questa curva.

Il procedimento analitico invece consiste nel trovare i valori di N_{Rd} per le diverse rette di deformazione che definiscono gli intervalli di resistenza. Collocare l'azione assiale agente N_{Ed} nell'intervallo appropriato e invertendo la formula trovare l'asse neutro x . In seguito, trovato x , calcolare il momento resistente M_{Rd} e confrontarlo con quello agente sul baricentro geometrico della sezione M_{Ed} . Tale che sia $M_{Ed} < M_{Rd}$.

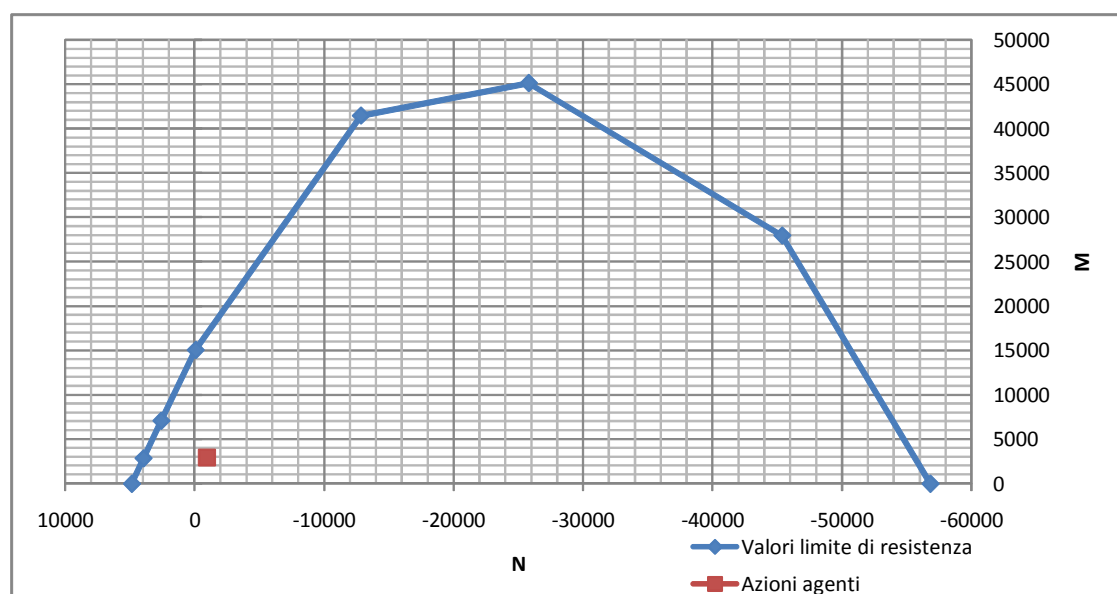
In questo caso, poichè le dimensioni di d e d' dipendono dall'ipotesi precedentemente fatta di x , si adotta un metodo misto per cui si opera con il procedimento analitico per poter verificare che l'asse neutro x trovato coincida con quello ipotizzato e in seguito si procede graficamente. Solamente per le sezioni interamente reagenti è possibile utilizzare direttamente il metodo grafico perchè si conosce già la posizione di x come $x > h$.

VERIFICA SLU PER SEZIONE PIANO TERRA PIEDE**GRAFICO N-M CON VALORI LIMITE DI RESISTENZA E VERIFICA SLU**

Retta	N_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
1''	4848	0
1'	3947	2861
0	2576	7088
1	-77	15066
2	-12838	41453
3	-25796	45116
4	-45374	27951
5	-56812	0

Per la verifica all'SLU è necessario che i punti di coordinate $(N_{Ed}; M_{Ed})$ cadano all'interno della curva limite di resistenza.

	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]
Azioni agenti	-948	2942



5.11. PLINTO DI FONDAZIONE

SFORZO RESISTENTE DEL TERRENO σ_v resistente

Nel dimensionare le fondazioni di un edificio è buona norma mantenere la pressione sul terreno abbastanza uniforme per non avere sensibili cedimenti differenziali. Questa regola è però una prima approssimazione, infatti lo sforzo applicato non è l'unico parametro che entra in gioco nel determinare l'entità del cedimento. L'impronta sul terreno della fondazione è, per esempio, un altro parametro che influenza la profondità del bulbo di pressione che si va a creare al di sotto della fondazione stessa. Una fondazione continua con notevole rigidità permette un'efficace ridistribuzione del carico ed evita cedimenti differenziali. Un sistema di fondazione a plinti isolati può dare problemi in questo senso. Per limitare questo fenomeno i plinti verranno collegati da una trave.

Lo sforzo resistente del terreno dipende sia da alcune costanti ontologicamente intrinseche nell'essere del terreno, come l'angolo d'attrito ϕ la coesione c e il peso specifico γ , sia da alcune variabili legate alla geometria del sistema di fondazione come la larghezza della fondazione b o l'altezza h .

COSTANTI DEL TERRENO E GEOMETRIA DEL PLINTO

Il PRG di Carpi suggerisce che il sottosuolo è costituito da limi argillosi; i parametri del terreno vengono stimati di conseguenza:

Angolo d'attrito interno del terreno ϕ	20	[°]
Coesione del terreno c	0,03	[N/mm ²]
Peso specifico del terreno γ	19,5	[kN/m ³]

Ipotizzando che $a \geq b$ si considera la geometria del plinto:

Lunghezza plinto a	1,8	[m]
Larghezza plinto b	1,8	[m]
Altezza plinto h	0,5	[m]

RESISTENZA DEL TERRENO r_v

Per fondazioni con impronta rettangolare si può determinare la resistenza del terreno r_v in dipendenza della larghezza del plinto, della coesione, del peso specifico del terreno e della pressione agente sullo stesso piano della fondazione ai lati della fondazione (modello di Rankine).

$$r_v = s_q N_q q + s_c N_c c + s_g N_g g \frac{b}{2}$$

Si considera in questo caso che sul terreno attorno al plinto non ci siano carichi applicati, quindi la pressione agente sullo stesso piano del terreno q [kN/m²] è dato dal prodotto del peso specifico del terreno γ [kN/m³] per l'altezza del terreno al di sopra del piano di appoggio del plinto, che in questo caso si considera uguale all'altezza del plinto h [m] più 0,6m.

$$q = g * h$$

Angolo d'attrito interno del terreno ϕ	0,35	[rad]
$\text{tg}\phi$	0,36	[-]
γ_ϕ	1,25	[-]
$(\text{tg}\phi)_d$	0,29	[-]
N_q	4,40	[-]
N_c	11,68	[-]
N_g	1,57	[-]
Lunghezza plinto a	1,8	[m]
Larghezza plinto b	1,8	[m]
S_q	1,29	[-]
S_c	1,38	[-]
S_g	0,60	[-]
Peso specifico del terreno γ	19,5	[kN/m ³]
Altezza plinto h	0,5	[m]
Pressione agente sullo stesso piano q	21,45	[kN/m ²]
Coesione del terreno c	0,03	[N/mm ²]
Resistenza del terreno r_v	621	[kN/m ²]

SFORZO RESISTENTE DEL TERRENO $\sigma_{v \text{ resistente}}$

Lo sforzo resistente del terreno $\sigma_{v \text{ resistente}}$ è dato da r_v diviso per un coefficiente di modello γ_R che per la resistenza del terreno è pari a 1,8.

$$\sigma_{v \text{ resistente}} = \frac{r_v}{\gamma_R}$$

Resistenza del terreno r_v	621	[kN/m ²]
γ_R	1,80	[-]
Sforzo resistente del terreno $\sigma_{v \text{ resistente}}$	345	[kN/m ²]

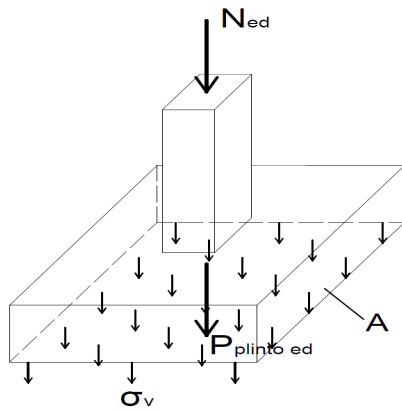
CARICHI AGENTI SUL PLINTO CENTRATO E VERIFICA SFORZO RESISTENTE DEL TERRENO

Bisogna verificare che $\frac{\sigma_v}{\sigma_{v\text{ resistente}}} < 1$

con: $\sigma_v = \frac{P_{ed}}{A}$

dove σ_v è lo sforzo agente; A è la superficie di base del plinto; P_{ed} è il carico agente dato dai carichi verticali e il peso proprio del plinto. Poiché si sta studiando un plinto centrato, al di sotto di un pilastro centrato, si considerano i carichi perfettamente verticali e gli eventuali momenti dati da carichi eccentrici pari a zero. Si considera inoltre il pilastro perfettamente centrato con il baricentro del plinto.

CARICHI AGENTI VERTICALI P_{ed}



$P_{ed} = N_{ed} + P_{plinto\ ed}$

$P_{plinto\ ed} = P_{plinto} \gamma_{G1}$

Lunghezza plinto a	1,8 [m]
Larghezza plinto b	1,8 [m]
Altezza plinto h	0,5 [m]
Volume plinto V	1,62 [m ³]
peso voluminico	25 [kN/m ³]
Peso proprio plinto P_{plinto}	40,5 [kN]
γ_{G1}	1,3 [-]
$P_{plinto\ ed}$	52,65 [kN]
N_{ed} PT (SLU)	840 [kN]
P_{ed}	893 [kN]

VERIFICA SFORZO RESISTENTE DEL TERRENO

$\frac{\sigma_v}{\sigma_{v\text{ resistente}}} < 1$

P_{ed}	893 [kN]
Superficie di base del plinto A	3,24 [m ²]
Sforzo agente σ_v	276 [kN/m ²]
Sforzo resistente del terreno $\sigma_{v\text{ resistente}}$	345 [kN/m ²]
$\sigma_v / \sigma_{v\text{ resistente}}$	0,80 [-]
verifica	verificato

Se non fosse verificato bisognerebbe aumentare le dimensioni della base o dell'altezza del plinto.

PREDIMENSIONAMENTO ARMATURA

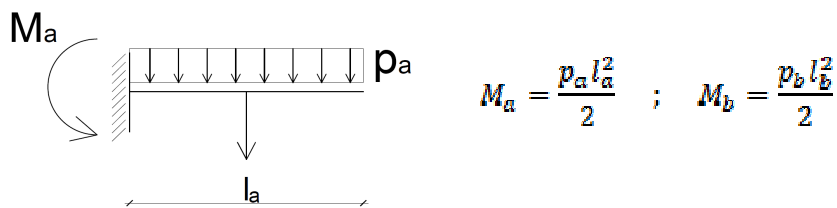
Il predimensionamento dell'armatura viene fatto considerando il plinto come quattro mensole fisse (una in ogni direzione uscente dai lati del pilastro).

MOMENTO AGENTE SULLE MENSOLE

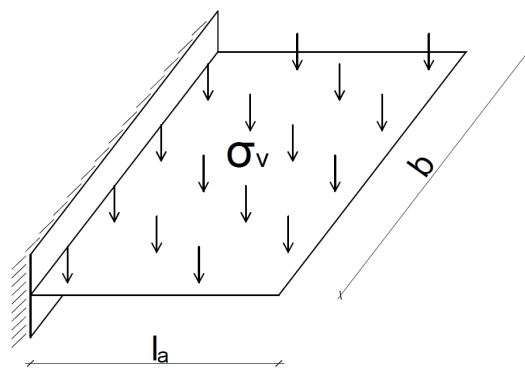
Le mensole hanno lati pari a l_a e l_b calcolati come $l_a = \frac{a - a'}{2}$; $l_b = \frac{b - b'}{2}$

dove a' e b' sono le dimensioni di base del pilastro incidente.

Considerando il seguente schema statico si possono trovare i momenti agenti mediante l'equilibrio alla rotazione nell'estremo incastrato.



con $p_a = \sigma_v b$; $p_b = \sigma_v a$



Lunghezza plinto a	1,8	[m]
Larghezza plinto b	1,8	[m]
Lunghezza pilastro a'	0,25	[m]
Larghezza pilastro b'	0,25	[m]
l_a	0,775	[m]
l_b	0,775	[m]
Sforzo agente σ_v	276	[kN/m ²]
p_a	496	[kN/m]
p_b	496	[kN/m]
M_a	149	[kNm]
M_b	149	[kNm]

SPESSORE COPRIFERRO NELLE FONDAZIONI

Per tener conto della minore precisione esecutiva delle opere di fondazione, i copriferri vanno opportunamente incrementati rispetto a quelli delle strutture di elevazione. Di seguito sono riportati gli spessori considerati.

Superficie di getto su magrone	35 mm
Plinti e zoccoli (eccetto il fondo)	40 mm

Tali valori vanno intesi come minimi di progetto e sono comprensivi della seguente torranza:

Plinti e zoccoli	±15 mm
------------------	--------

ALTEZZA UTILE d

L'altezza utile d è la distanza tra le fibre del cls più compresse e il centro di gravità dell'acciaio teso.



L'altezza utile dipende quindi dalla posizione dell'armatura e dal copriferro.

Secondo quanto detto precedentemente, si considera un copriferro di 40mm ed un raggio massimo ipotetico dei ferri di armatura di 15mm. L'altezza utile d_a la si considera quindi pari all'altezza della fondazione h meno 55mm che è la somma dei due elementi sopra nominati; L'altezza utile d_b la si considera invece inferiore perchè le due armature longitudinali non si possono intersecare in uno stesso punto, si considera quindi l'asse di d_b ad una distanza di 10 mm dall'asse di d_a .

Altezza plinto h	0,5	[m]
Spessore copriferro	40	[mm]
Raggio max ipotetico ferri di armatura	15	[mm]
altezza utile d_a	0,45	[m]
altezza utile d_b	0,44	[m]

BRACCIO COPPIA INTERNA PER IL PREDIMENSIONAMENTO z_{pre}

$$z_{pre}=0,9*d$$

altezza utile d_a	0,45	[m]
braccio coppia interna predim. z_{prea}	0,40	[m]
altezza utile d_b	0,44	[m]
braccio coppia interna predim. z_{preb}	0,39	[m]

RESISTENZA DI CALCOLO A COMPRESSIONE DEL CLS e (a trazione) DELL'ACCIAIO*4.1.2.1.1 Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo*

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione, f_{cd} , è:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C \quad (4.1.4)$$

dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;

γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

Il coefficiente γ_C è pari ad 1,5.

Il coefficiente α_{cc} è pari a 0,85.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori minori di 50 mm, la resistenza di calcolo a compressione va ridotta a $0,80f_{cd}$.

4.1.2.1.3 Resistenza di calcolo dell'acciaio

La resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S \quad (4.1.6)$$

dove:

γ_S è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio;

f_{yk} per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (v. § 11.3.2), per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da f_{pyk} (barre), $f_{p(0,1)k}$ (fili), $f_{p(1)k}$ (trefoli e trecce); si veda in proposito la Tab. 11.3.VII.

Il coefficiente γ_S assume sempre, per tutti i tipi di acciaio, il valore 1,15.

cemento scelto	C25/30	
resistenza caratt. a compressione f_{ck}	25	[MPa]
resistenza caratt. a compressione f_{ck}	25000	[kN/m ²]
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_C	1,5	[-]
Coefficiente riduttivo calcestruzzo α_{cc}	0,85	[-]
Resistenza di prog. a compressione f_{cd}	14166,67	[kN/m ²]
Resistenza di prog. a compressione f_{cd}	14,17	[MPa]
acciaio scelto	B450C	
Tensione snervamento armatura f_{yk}	450	[MPa]
Tensione snervamento armatura f_{yk}	450000	[kN/m ²]
Coefficiente di sicurezza acciaio γ_S	1,15	[-]
Tensione snervamento di progetto f_{yd}	391304,3	[kN/m ²]
Tensione snervamento di progetto f_{yd}	391	[MPa]

RESISTENZA DI CALCOLO A TRAZIONE DEL CLS

La resistenza media a compressione f_{cm} dipende da come viene prodotto il CLS, in questo caso si tratta di produzione ordinaria, per cui:

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$$

$\Delta f = 8 \text{ Mpa} \Rightarrow$ per produzione ordinaria
 $\Delta f = 5 \text{ Mpa} \Rightarrow$ per produzione controllata

resistenza caratt. a compressione f_{ck}	25 [MPa]
Δf	8 [MPa]
resistenza media a compressione f_{cm}	33 [MPa]

Resistenza media a trazione f_{ctm}

$$f_{ctm} = 0,27 * f_{cm}^{2/3}$$

Resistenza media a trazione f_{ctm}	2,78 [MPa]
---------------------------------------	------------

Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk}

$$f_{ctm} = 0,7 * f_{ctk} \Rightarrow \text{per produzione ordinaria}$$

$$f_{ctm} = 0,8 * f_{ctk} \Rightarrow \text{per produzione controllata}$$

Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk}	1,94 [MPa]
--	------------

4.1.2.1.1.2 Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo

La resistenza di calcolo a trazione, f_{ctd} , vale:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c \quad (4.1.5)$$

dove:

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo già definito al § 4.1.2.1.1.1;
 f_{ctk} è la resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo (§ 11.2.10.2).

Il coefficiente γ_c assume il valore 1,5.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori minori di 50 mm, la resistenza di calcolo a trazione va ridotta a $0,80f_{ctd}$.

Il coefficiente γ_c può essere ridotto, da 1,5 a 1,4 nei casi specificati al § 4.1.2.1.1.1.

coefficiente di sicurezza γ_c	1,5 [-]
Resistenza di calcolo a trazione f_{ctd}	1,30 [MPa]

AREA TOTALE ACCIAIO A_s e SCELTA DELL'ARMATURA

Nell'ipotesi di rottura bilanciata si ottiene un valore A_s dell'area di armatura di predimensionamento nella direzione delle diverse mensole applicando la formula sottostante, che deriva da un equilibrio alla rotazione della sezione rispetto al punto di applicazione della risultante delle compressioni; in seguito si scelgono delle armature commerciali con un'area superiore a quella calcolata.

$$A_{sa} = \frac{M_a}{z_{pre} f_{yd}} \quad ; \quad A_{sb} = \frac{M_b}{z_{pre} f_{yd}}$$

MENSOLA LUNGO a

momento agente SLU M_a	149 [kNm]
braccio coppia interna predim. z_{prea}	0,40 [m]
Tensione snervamento di progetto f_{yd}	391 [MPa]
area totale acciaio A_{sa} teorica	951 [mm ²]

Per travi e solai il \varnothing minimo dei ferri di armatura è di 14 mm.

n tondini scelti lungo a	8 [-]
\varnothing scelti lungo a	14 [mm]
area totale acciaio scelto A_{sa}	1231 [mm ²]
Lunghezza plinto a	1,8 [m]
Spessore copriferro	40 [mm]
Raggio max ipotetico ferri di armatura	15 [mm]
Interassi dei ferri paralleli al terreno i_a	24,14 [cm]

MENSOLA LUNGO b

momento agente SLU M_b	149 [kNm]
braccio coppia interna predim. z_{preb}	0,39 [m]
Tensione snervamento di progetto f_{yd}	391 [MPa]
area totale acciaio A_{sb} teorica	973 [mm ²]

Per travi e solai il \varnothing minimo dei ferri di armatura è di 14 mm.

n tondini scelti lungo b	8 [-]
\varnothing scelti lungo b	14 [mm]
area totale acciaio scelto A_{sb}	1231 [mm ²]
Larghezza plinto b	1,8 [m]
Spessore copriferro	40 [mm]
Raggio massimo ipotetico ferri di armatura	15 [mm]
Interassi dei ferri paralleli al terreno i_b	24,14 [cm]

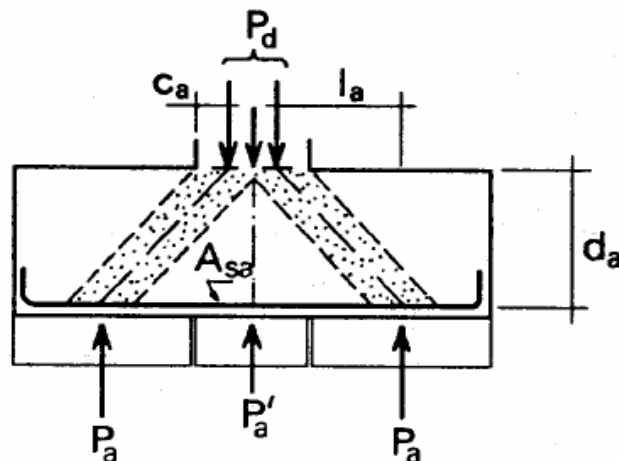
VERIFICA ARMATURA LONGITUDINALE PARALLELA AL TERRENO

Riferendosi a questo caso doppiamente simmetrico, il plinto può essere inteso come una doppia mensola rovescia tozza, quindi si possono assumere due schemi statici ortogonali che riportano la reazione diffusa su tutta la base d'appoggio entro la sagoma ristretta del pilastro. In particolare lo schema statico sotto riportato rappresenta il sistema a puntone del cls che si va a formare.

FORZA REAGENTE P_{rs}

La forza reagente P_{rs} può essere considerata come la composizione di una forza di compressione P'_a agente sull'asse del pilastro incidente e di due forze simmetriche P_a agenti sui puntoni di cls quindi ad una distanza l'_a dal bordo del pilastro.

$$P_{rs\ a} = P'_a + 2P_a \quad ; \quad P_{rs\ b} = P'_b + 2P_b$$



Rispettivamente per le due direzioni ortogonali si avranno le seguenti formule:

$$c_a = \min\left(0,2d_a; \frac{a'}{4}\right) \quad ; \quad c_b = \min\left(0,2d_b; \frac{b'}{4}\right)$$

$$l'_a \cong \frac{a - a'}{4} + c_a \quad ; \quad l'_b \cong \frac{b - b'}{4} + c_b$$

con c_a distanza dell'estremo del puntone dal bordo del pilastro; a e b dimensioni del plinto; a' e b' dimensioni del pilastro incidente; d altezza utile.

$$P'_a = \frac{a'}{a} P_d \quad ; \quad P'_b = \frac{b'}{b} P_d$$

con $P_d = P_{ed}$

nelle notazioni precedenti.

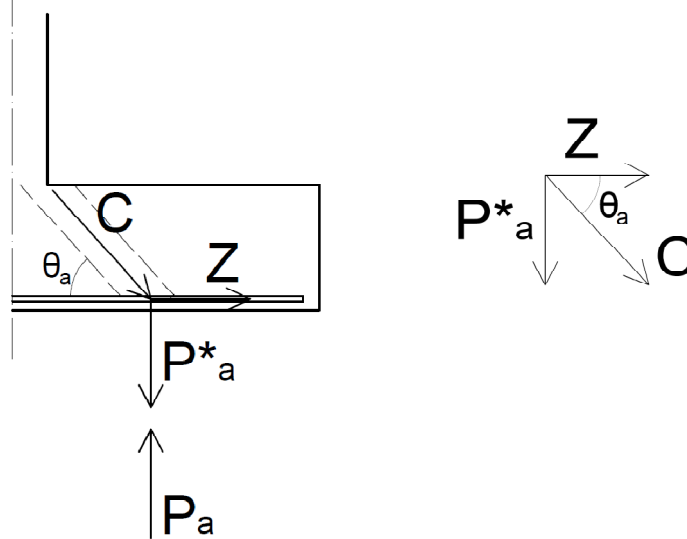
La cotangente dell'angolo di inclinazione del puntone θ la si può trovare come il rapporto delle lunghezze l'_a e d .

$$\lambda_a = \frac{l'_a}{d_a} \quad ; \quad \lambda_b = \frac{l'_b}{d_b}$$

con

$$\lambda_a = \cotg\theta_a \quad ; \quad \lambda_b = \cotg\theta_b$$

Si considera la compressione C sul puntone obliquo come la somma della componente orizzontale di trazione sull'armatura e della componente verticale P*_a trasmessa al terreno (e contrastata dalla reazione del terreno P_a). Si può quindi trovare P_a facendo le opportune sostituzioni:



$$P_a = P_a^*$$

$$Z = f_{yd} A_{sa}$$

$$Z = C * \cos\theta_a \Rightarrow C = \frac{Z}{\cos\theta_a}$$

$$P_a^* = C * \sin\theta_a = Z \frac{\sin\theta_a}{\cos\theta_a} = Z * \tan\theta_a = f_{yd} A_{sa} \frac{1}{\lambda_a}$$

quindi

$$P_a = f_{yd} A_{sa} \frac{1}{\lambda_a} \quad ; \quad P_b = f_{yd} A_{sb} \frac{1}{\lambda_b}$$

Si può quindi ora trovare la forza reagente:

$$P_{rs a} = P'_a + 2f_{yd} A_{sa} \frac{1}{\lambda_a} \quad ; \quad P_{rs b} = P'_b + 2f_{yd} A_{sb} \frac{1}{\lambda_b}$$

PUNTONE LUNGO a

Lunghezza plinto a	1,8	[m]
Lunghezza pilastro a'	0,25	[m]
altezza utile d _a	0,45	[m]
c _a	0,063	[m]
l' _a	0,450	[m]
P _d = P _{ed}	893	[kN]
P' _a	124	[kN]
λ _a	1,01	[-]
Tensione snervamento di progetto f _{yd}	391	[MPa]
area totale acciaio scelto A _{sa}	1231	[mm ²]
P _{rs a}	1077	[kN]

PUNTONE LUNGO b

Lunghezza plinto b	1,8	[m]
Lunghezza pilastro b'	0,25	[m]
altezza utile d _b	0,44	[m]
c _b	0,063	[m]
l' _b	0,450	[m]
P _d = P _{ed}	893	[kN]
P' _b	124	[kN]
λ _b	1,03	[-]
Tensione snervamento di progetto f _{yd}	391	[MPa]
area totale acciaio scelto A _{sb}	1231	[mm ²]
P _{rs b}	1055	[kN]

In questo caso si sta eseguendo una verifica sull'area dell'armatura. Se invece l'armatura non fosse già stata definita si sarebbe potuto prodimensionarla a questo punto utilizzando la formula

$$2P_a = \frac{a - a'}{a} P_d \quad ; \quad 2P_b = \frac{b - b'}{b} P_d$$

Quindi uguagliandola con la precedente la condizione da soddisfare sarebbe

$$2f_{yd} A_{sa} \frac{1}{\lambda_a} > \frac{a - a'}{a} P_d \quad ; \quad 2f_{yd} A_{sb} \frac{1}{\lambda_b} > \frac{b - b'}{b} P_d$$

Dove A_{sa} e A_{sb} sono le incognite.

VERIFICA ARMATURA LONGITUDINALE PARALLELA AL TERRENO

Si verifica che l'area dell'armatura longitudinale sia sufficiente.

$$\frac{P_d}{P_{rs}} < 1$$

Se la verifica non fosse soddisfatta, sarebbe necessario aumentare l'area d'armatura o fare in modo che le mensole siano più tozze aumentando la dimensione dell'altezza.

PUNTONE LUNGO a

P _d = P _{ed}	893	[kN]
P _{rs a}	1077	[kN]
P _d / P _{rs}	0,83	[-]
verifica	verificato	

PUNTONE LUNGO b

P _d = P _{ed}	893	[kN]
P _{rs b}	1055	[kN]
P _d / P _{rs}	0,85	[-]
verifica	verificato	

VERIFICA DEL PLINTO LATO CALCESTRUZZO

La verifica lato cls è analoga a quella lato acciaio, solo che la forza resistente P_{rc} è calcolata in maniera diversa. E' necessario infatti sommare la componente P_0 relativa alla parte di carico ripartita sulla proiezione del pilastro (corrispondente alla P_a o P_b precedentemente viste) e le quattro componenti resistenti (due per ogni direzione) dovute ai quattro puntoni di calcestruzzo e determinate mediante equilibrio alla traslazione verticale nel nodo superiore.

$$\frac{P_d}{P_{rs}} < 1$$

FORZA REAGENTE P_{rs}

$$P_{rs} = P_0 + 2 * 0,4d_a b' f_{cd} \frac{1}{1 + \lambda_a^2} + 2 * 0,4d_b a' f_{cd} \frac{1}{1 + \lambda_b^2}$$

con

$$P_0 = \frac{a'b'}{ab} P_d$$

Lunghezza plinto a	1,8	[m]
Lunghezza plinto b	1,8	[m]
Lunghezza pilastro a'	0,25	[m]
Lunghezza pilastro b'	0,25	[m]
$P_d = P_{ed}$	893	[kN]
P_0	17	[kN]
Altezza utile d_a	0,45	[m]
Altezza utile d_b	0,44	[m]
Resistenza di progetto a compressione f_{cd}	14,17	[MPa]
λ_a	1,01	[-]
λ_b	1,03	[-]
P_{rs}	1236	[kN]

VERIFICA DEL PLINTO LATO CALCESTRUZZO

$$\frac{P_d}{P_{rs}} < 1$$

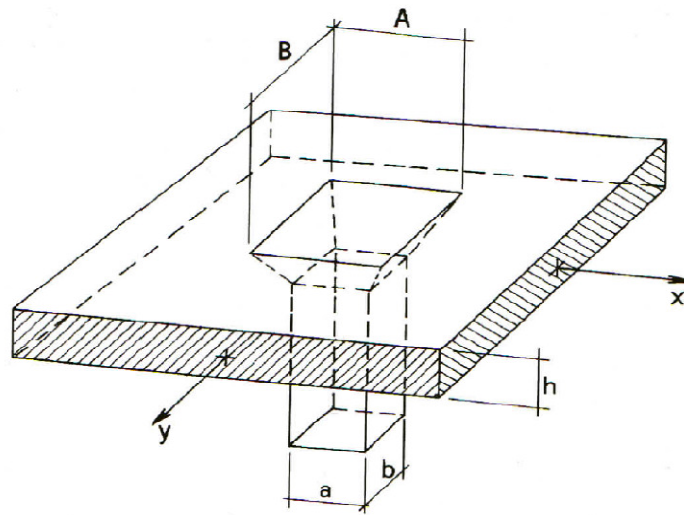
$P_d = P_{ed}$	893	[kN]
P_{rs}	1236	[kN]
P_d / P_{rs}	0,72	[-]
verifica	verificato	

VERIFICA AL PUNZONAMENTO

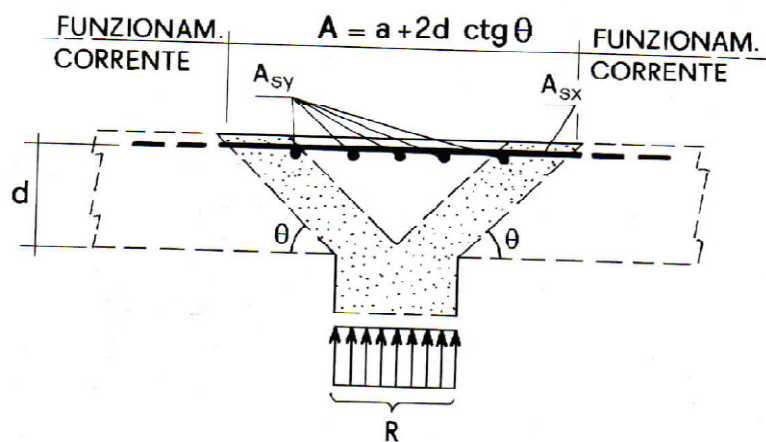
Se il plinto è di non grande spessore, è allora necessario eseguire la verifica al punzonamento. Questa verifica risulta superflua per gli elementi tozzi. Nel caso in cui la verifica non fosse soddisfatta bisognerebbe aumentare l'altezza del plinto o la sezione del pilastro (soluzione atipica), oppure inserire le armature trasversali costituite da ferri piegati.

RESISTENZA SUL PERIMETRO CRITICO P'_r

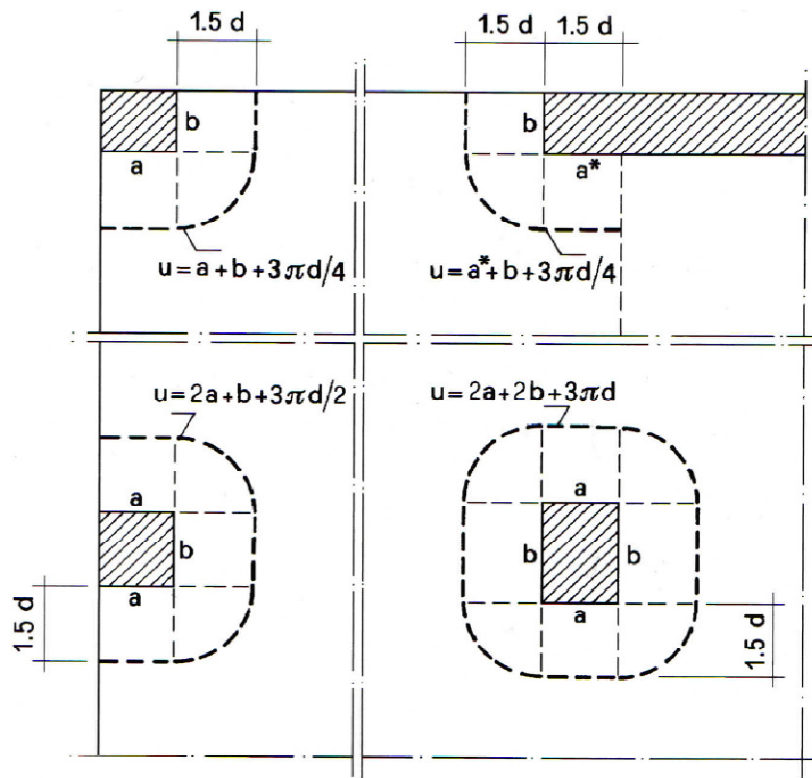
Nella verifica al punzonamento bisogna considerare la minore tra la resistenza sul perimetro critico e la resistenza sul perimetro del pilastro. Il perimetro critico corrisponde a quello che delimita superiormente la superficie di rottura che rappresentata schematicamente si configura con una forma troncoconica con base minore coincidente con i lati del pilastro a' , b' e base maggiore di lati A , B .



Per piastre non provviste di armatura trasversale, l'angolo di rottura che va a determinare la lunghezza dei lati A e B è pari a circa 34° .



Il perimetro critico nella realtà non coincide con un rettangolo ma ha una smussatura negli angoli, di raggio $1,5d$.



Per un pilastro che poggia su un plinto il perimetro critico u diventa quindi pari a

$$u = 2a + 2b + 2(1,5d)\pi = 2a + 2b + 3d\pi$$

con d altezza utile media tra quella in direzione a ed in direzione b :

$$d = \frac{d_a + d_b}{2}$$

La resistenza sul perimetro critico è data dalla seguente formula ricavata in via puramente empirica e corrispondente al meccanismo a pettine, è infatti la stessa formula utilizzata per la verifica a taglio senza armatura del solaio.

$$P'_r = 0,25udf_{ctd}\kappa(1 + 50\rho_s)$$

κ è un meccanismo resistente aggiuntivo:

$$\kappa = 1,6 - d \geq 1$$

ρ_s è il rapporto geometrico dell'armatura dato da

$$\rho_s = \sqrt{\rho_{sa}\rho_{sb}}$$

con

$$\rho_{sa} = \frac{A_{sa}}{a * d} \quad ; \quad \rho_{sb} = \frac{A_{sb}}{b * d}$$

Altezza utile d _a	0,45	[m]
Altezza utile d _b	0,44	[m]
Altezza utile media d	0,44	[m]
Lunghezza pilastro a'	0,25	[m]
Lunghezza pilastro b'	0,25	[m]
Perimetro critico u	5,15	[m]
κ	1,16	[-]
Area totale acciaio scelto A _{sa}	1231	[mm ²]
Area totale acciaio scelto A _{sb}	1231	[mm ²]
Larghezza alla base della sezione a	1,8	[m]
Larghezza alla base della sezione b	1,8	[m]
ρ _{sa}	0,001554	[-]
ρ _{sb}	0,001554	[-]
ρ _s	0,001554	[-]
Resistenza di calcolo a trazione f _{ctd}	1,30	[MPa]
Resistenza sul perimetro critico P' _r	917	[kN]

RESISTENZA SUL PERIMETRO DEL PILASTRO P''_r

$$P''_r = 0,4u_0 d f_{cd} \frac{1}{1 + \lambda^2}$$

con u₀ perimetro del pilastro

$$u_0 = 2a' + 2b'$$

$$e \quad \lambda = \frac{\lambda_a + \lambda_b}{2}$$

Lunghezza pilastro a'	0,25	[m]
Lunghezza pilastro b'	0,25	[m]
Perimetro del pilastro u ₀	1	[m]
Altezza utile media d	0,44	[m]
Resistenza di progetto a compressione f _{cd}	14,17	[MPa]
λ _a	1,01	[-]
λ _b	1,03	[-]
λ	1,02	[-]
Resistenza sul perimetro del pilastro P'' _r	1218	[kN]

RESISTENZA DA CONSIDERARE P_r

Viene considerata la minore tra le resistenze trovate:

$$P_r = \min (P'_r; P''_r)$$

Resistenza sul perimetro critico P' _r	917	[kN]
Resistenza sul perimetro del pilastro P'' _r	1218	[kN]
Resistenza da considerare P _r	917	[kN]

VERIFICA AL PUNZONAMENTO

Si verifica ora che la resistenza P_r sia maggiore della risultante delle azioni assiali sulla struttura del plinto al di fuori del perimetro del pilastro.

$$P_r > P_d - P_o$$

Resistenza da considerare P _r	917	[kN]
P _d = P _{ed}	893	[kN]
P _o	17	[kN]
verifica	verificato	

Parte Sesta

Analisi dei costi

6. INTRODUZIONE

Questo capitolo ha lo scopo di quantizzare i costi di costruzione del nostro edificio. Questo tipo di analisi è utile per capire se quello che abbiamo immaginato di creare sia effettivamente realizzabile. Un edificio industriale deve necessariamente rappresentare un investimento sostenibile se ne si vuole sfruttare pienamente le potenzialità economiche. Ottimizzare questo processo fa parte della sfida progettuale da cui siamo partiti. Nelle seguenti pagine verrà analizzato e commentato il computo metrico per voci di lavoro, concludendo con un confronto tra il nostro edificio ed altri edifici della stessa categoria con caratteristiche affini mediante stima parametrica.

6.1. RIEPILOGO DEI RISULTATI DEL COMPUTO METRICO

Dovendo svolgere un computo metrico è necessario innanzitutto suddividere il nostro edificio secondo classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche e classi di elementi tecnici, come mostra la figura:

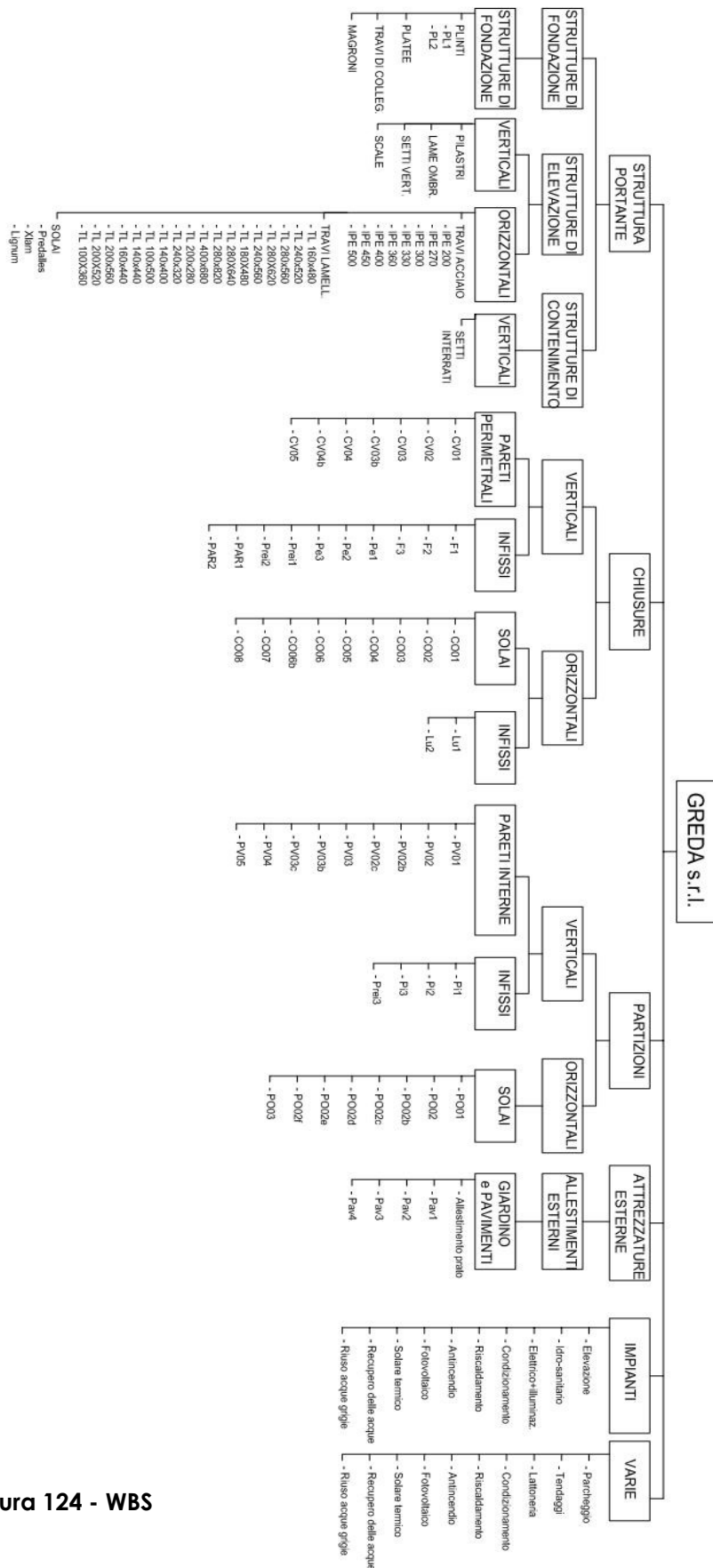


Figura 124 - WBS

Una volta fatto questo si procede a suddividere ulteriormente ogni elemento tecnico nelle sue lavorazioni. Ognuna di queste lavorazioni va ricercata sul prezzario della provincia di appartenenza, che ne fornirà il prezzo in relazione all'unità di misura più adatta alla sua misurazione. A questo punto si può moltiplicare questo valore per la quantità presente nel progetto. Una volta terminate tutte le lavorazioni necessarie alla costruzione dell'edificio si ricaverà il suo costo totale. In allegato si può trovare il computo metrico completo di tutti i risultati, suddiviso piano per piano in modo che sia possibile ricavare le durate delle lavorazioni da dedicare ad ogni livello dell'edificio e redigere un PERT o un GANTT in modo adeguato.

Di seguito riassumiamo brevemente i totali ottenuti divisi in categorie, in modo che risulti più chiaro il confronto con un edificio di riferimento.

LAVORAZIONI	EURO	%
SCAVI E RIPORTI	33.106,12	0,52
FONDAZIONI	97.553,81	1,52
TRAVI IN ACCIAIO	68.873,00	1,07
TRAVI IN LEGNO	374.318,54	5,84
SOLAI PORTANTI	501.937,07	7,83
PILASTRI IN ACCIAIO	135.447,68	2,11
SETTI E SCALE IN CA	230.994,54	3,60
CHIUSURE VERTICALI	710.956,38	11,09
CHIUSURE ORIZZ.	606.533,22	9,46
INFISSI SU ESTERNO	64.729,00	1,01
INFISSI INTERNI	96.705,52	1,51
LUCERNARI	99.620,00	1,55
VETRATE CONTINUE	890.237,72	13,89
PARTIZIONI ORIZZ	298.735,16	4,66
PARTIZIONI VERT	253.398,16	3,95
SISTEMAZIONI ESTERNE	202.371,84	3,16
ASCENSORI	78.948,08	1,23
PARCHEGGIO MEC	375.000,00	5,85
IMP. ENERGIA RINN.	291.644,60	4,55
IMP. ELETTRICO	270.000,00	4,21
IMP. IDRICO	105.600,00	1,65
IMP. ANTINCENDIO	122.795,23	1,92
IMP. RADIANTE	207.372,95	3,23
UTA+POMPA	170.990,80	2,67
VARIE	123.050,58	1,92
TOTALE	6.410.920,01	100,00

Figura 125 - Riassunto del computo metrico

Accorpando ulteriormente le voci e ordinandole secondo percentuale di incidenza otteniamo:

LAVORAZIONI	EURO	%
STRUTTURE CA, ACCIAIO, LEGNO	1.409.124,64	21,98
CHIUSURE	1.317.489,60	20,55
VETRATE E LUCERNARI	989.857,72	15,44
PARTIZIONI	552.133,32	8,61
PARCHEGGIO MECCANIZZATO	375.000,00	5,85
IMP. ENERGIE RINNOVABILI	291.644,60	4,55
IMPIANTO ELETTRICO	270.000,00	4,21
IMPIANTO RADIANTE	207.372,95	3,23
SISTEMAZIONI ESTERNE	202.371,84	3,16
UTA+POMPA DI CALORE	170.990,80	2,67
INFISSI	161.434,52	2,52
IMPIANTO ANTINCENDIO	122.795,23	1,92
IMPIANTO IDRICO	105.600,00	1,65
ASCENSORI	78.948,08	1,23
SCAVI E MOVIMENTI TERRA	33.106,12	0,52
VARIE	123.050,58	1,92
TOTALE	6.410.920,01	100

Figura 126 - Lavorazioni in ordine di percentuale d'incidenza

Come è lecito aspettarsi, i costi riguardanti la struttura e le chiusure sono quelli che incidono maggiormente sul totale. Questo è dovuto sia alle scelte architettoniche operate, che hanno privilegiato l'uso di materiali importanti come il legno o l'acciaio per il rivestimento, sia alla volontà di creare un involucro molto prestazionale. Sempre per questo motivo le vetrate continue occupano il terzo posto come capitolo di spesa; la scelta di usare vetri doppi e tripli, selettivi e basso emissivi, ha inciso molto sul risultato finale. La spesa è giustificata da un minor consumo energetico, che negli anni risulta essere la strategia migliore per risparmiare sui costi di gestione dell'edificio. Se consideriamo tutti gli impianti presenti sotto un'unica voce, troviamo un valore complessivo che si avvicina molto a quello delle vetrate, ossia circa il 15%. Queste quattro voci generalmente sono quelle che in un progetto incidono sempre per la percentuale maggiore, che può variare a seconda delle soluzioni operate. Di diverso dal solito si può notare il parcheggio meccanizzato, che costa di più proprio per il meccanismo d'automazione di cui è fornito. Bisogna ricordare che la sua realizzazione ha permesso di risparmiare su scavi e opere in CA, oltre a ridurre i costi di manutenzione. Inoltre anche per un fatto di immagine, collocare un parcheggio automatizzato in un'azienda che deve essere simbolo di modernità e progresso può essere una tecnica per valorizzare l'edificio.

Il totale così ottenuto può essere diviso per i metri quadri di superficie calpestabile, ottenendo un valore confrontabile con altri fabbricati di natura simile.

COSTO TOTALE	6.410.920,01	euro
SUPERFICIE	5.375,00	m²
VOLUME	27.444,00	m³
COSTO AL m²	1.192,73	euro
COSTO AL m³	233,60	euro

Figura 127 - Costi al metro quadro e al metro cubo

6.2. CONFRONTO PARAMETRICO CON EDIFICI SIMILI

Per il confronto ci serviremo innanzitutto del prezzario regionale del Veneto, che mette a disposizione gratuitamente i costi parametrici per alcune tipologie di edifici (aggiornati a settembre 2010). Come secondo riferimento analizzeremo la sede della Rothoblaas, un'azienda già citata tra i riferimenti architettonici nel capitolo due, che ospita al suo interno delle funzioni piuttosto simili alle nostre ed inoltre utilizza tecnologie e materiali affini. Secondo il prezzario, i costi per un edificio di tipo direzionale sono:

Edificio Civile Direzionale			
Sviluppo 5900 m ² Volume 17500 m ³			
codice	lavorazioni	costi	incidenza percentuale
1	Scavi e rinterri	€ 23 300,00	0,39%
2	Opere in c.a.	€ 2 100 000,00	35,11%
3	Vespai sottofondi e pavimenti	€ 30 000,00	0,50%
4	Isolamento e impermeabilizzazioni	€ 468 000,00	7,83%
5	Murature e tavolati	€ 625 250,00	10,45%
6	Intonaci	€ 375 480,00	6,28%
7	Canne e fognature	€ 93 950,00	1,57%
8	Rivestimenti	€ 128 490,00	2,15%
9	Opere carpenteria metallica e alluminio serramenti	€ 758 620,00	12,68%
10	Impianto di riscaldamento	€ 450 170,00	7,53%
11	Impianto idrosanitario	€ 314 640,00	5,26%
12	Impianto elettrico	€ 230 000,00	3,85%
13	Impianto ascensori	€ 198 000,00	3,31%
14	Impianto gas e antincendio	€ 184 700,00	3,09%
COSTO COMPLESSIVO		€ 5 980 600,00	100,00%
RIEPILOGO			
Costo dell'opera a m ² € 1 013,66		Costo dell'opera a m ³ € 341,75	

Figura 128 - Costo di un edificio direzionale di riferimento

Possiamo subito notare che la superficie in pianta per questo riferimento è maggiore della nostra, mentre il volume è molto minore. Questo è causato dalla presenza del magazzino, che con la sua altezza interna di 7,5 metri aggiunge volumetria all'edificio. I costi di questa costruzione sono minori dei nostri se facciamo un paragone al metro quadro, pur essendo comunque confrontabili dato che la differenza si attesta intorno ai 200 euro. Volumetricamente invece la situazione si ribalta, per i motivi già descritti prima. Il costo maggiore della nostra costruzione è facilmente giustificabile se pensiamo alle scelte adottate, soprattutto per quanto riguarda l'involucro e gli impianti. A questo dobbiamo aggiungere le strategie di produzione di energia da fonti rinnovabili e il recupero delle acque. I benefici che si avranno a lungo termine sono coerenti con le spese fatte, come dimostrato nei precedenti capitoli. Queste scelte peseranno molto anche in fase di stesura della certificazione LEED. Se analizziamo l'incidenza percentuale delle varie voci possiamo vedere alcune sostanziali differenze per quanto riguarda gli impianti, che nell'edificio di riferimento sono leggermente maggiori. Anche in questo caso ad influenzare il risultato è soprattutto il magazzino, che non necessita dello stesso sviluppo impiantistico della parte direzionale, abbassandone perciò l'incidenza percentuale.

Per quanto riguarda la Rothoblaas possiamo disporre dei seguenti dati:

Pubblicazioni	Arketipo Il Sole 24 ORE Fabbriche Tra natura e artificio October 2007	
Cliente	Rothoblaas Srl azienda commerciale	
Date	Concorso	Dicembre 2003
	Affidamento d'incarico	Marzo 2004
	Inaugurazione	Agosto 2005
Dimensioni	Superficie del lotto	5000 mq
	Superficie lorda edificata	3700
	Altezza massima fuori terra	14 m
	Cubatura	24000
	Numero di piani fuori terra	2
	Costo di costruzione	3.500.000 €

Se calcoliamo il costo al metro quadro viene circa 946€. Anche in questa situazione quindi il costo è minore del nostro. Dobbiamo ricordare che in questo caso non è presente nessun tipo di sistemazione esterna a verde, non è presente un parcheggio interrato e nemmeno un impianto fotovoltaico. L'assenza di queste voci, che nel nostro computo sono particolarmente importanti, incide notevolmente sul totale che ovviamente risulta più basso. La configurazione strutturale e l'involucro vetrato invece sono più simili al nostro edificio, come anche l'organizzazione degli spazi interni seppur con alcune sostanziali differenze. Se togliamo dal nostro computo le voci precedentemente menzionate otteniamo un costo di 1042€/m², che comincia ad essere più simile a quello della Rothoblaas. Possiamo concludere che il costo per la nostra opera non risulta affatto proibitivo, anzi, sul lungo termine le scelte effettuate risulteranno vincenti.

Figura 129 - Dati tecnici Rothoblaas

Parte Settima

La certificazione LEED



7. INTRODUZIONE

L'impatto ambientale derivante dalla progettazione, dalla costruzione e dal funzionamento degli edifici é enorme: in Europa le costruzioni sono responsabili di circa il 40% del consumo di energia primaria sul totale utilizzato. Inoltre gli edifici contribuiscono ad impoverire la varietà biologica dell'ecosistema globale attraverso la trasformazione di microecosistemi locali in spazi antropizzati impermeabili e privi di biodiversità. L'enorme influenza negativa delle costruzioni sull'ambiente richiede specifiche azioni per contrastarne gli effetti finali. Un progetto realizzato con criteri di sostenibilità può minimizzare o addirittura eliminare del tutto gli impatti ambientali, attraverso l'adozione di pratiche progettuali e costruttive migliori rispetto a quelle comunemente in uso. Le ricerche effettuate su edifici commerciali progettati con criteri di sostenibilità ambientale dimostrano un aumento della produttività degli utenti di circa il 16% contestualmente alla riduzione delle assenze e a una migliore vivibilità. L'introduzione di misure di efficienza energetica in edifici terziari può ridurre sensibilmente i costi di esercizio, mentre il riutilizzo o il riciclo dei materiali da costruzione consente di minimizzare l'impatto sulle risorse naturali. In sintesi, l'adozione di pratiche sostenibili nella progettazione edilizia consente di conseguire benefici ambientali, economici e sociali molto rilevanti.

7.1. CARATTERISTICHE DELLA CERTIFICAZIONE LEED

Il sistema di valutazione della sostenibilità edilizia LEED è un sistema volontario, basato sul consenso comune dei soci e guidato dal mercato. Utilizzando tecnologie esistenti di provata validità, LEED valuta le prestazioni ambientali degli edifici da un punto di vista complessivo durante il loro intero ciclo di vita, attraverso uno standard di riferimento completo che definisce che cosa è un edificio sostenibile sia durante la fase di progettazione, che durante la costruzione e l'esercizio. LEED è un sistema di misura delle prestazioni ambientali pensato per la valutazione degli edifici commerciali, istituzionali e residenziali sia nuovi sia esistenti, che si basa su principi ambientali ed energetici comunemente riconosciuti ed accettati dalla comunità scientifica internazionale e definisce un equilibrio tra le attuali pratiche e i concetti emergenti innovativi. Il sistema di valutazione è organizzato in cinque categorie ambientali: Sostenibilità del Sito, Gestione delle Acque, Energia e Atmosfera, Materiali e Risorse, Qualità ambientale Interna. Una ulteriore categoria, Innovazione nella Progettazione, si interessa delle pratiche innovative indirizzate alla sostenibilità e alle questioni non trattate nelle cinque categorie precedenti. Infine la categoria Priorità Regionale permette di evidenziare l'importanza delle situazioni locali nella determinazione delle migliori pratiche di sostenibilità progettuali e costruttive.

7.2. IL SISTEMA DI ATTRIBUZIONE DEI CREDITI LEED

Il sistema di pesatura dei crediti di LEED 2009 NC Italia è basato sui seguenti parametri, validi in tutti i sistemi di certificazione LEED previsti da USGBC e GBC Italia:

- Tutti i crediti LEED valgono almeno 1 punto.
- Tutti i crediti LEED hanno un valore intero positivo; non esistono valori frazionari o negativi.
- Tutti i crediti LEED ricevono un peso unico e fisso in ogni sistema di valutazione; senza variazioni geografiche.
- Tutti i sistemi di valutazione LEED hanno 100 punti di base; le categorie IP (Innovazione nella Progettazione) e PR (Priorità Regionale) permettono di conseguire 10 ulteriori punti bonus.

In funzione dei criteri visti in precedenza, il processo di pesatura dei crediti di LEED 2009 si sviluppa in tre passaggi:

1. In base a un edificio di riferimento per la certificazione LEED si stima l'impatto ambientale nelle diverse categorie di impatto ambientale derivate dal software TRACI.
2. Si individua il peso relativo dei diversi impatti dell'edificio per ogni categoria in accordo ai valori indicati dal sistema NIST.
3. Si assegna il punteggio di ciascun credito in base ai dati che quantificano l'impatto dell'edificio sull'ambiente e sulla salute umana.

7.3. QUANDO USARE LEED

Il sistema di valutazione LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni è stato sviluppato in primo luogo per edifici civili italiani di nuova edificazione ad uso istituzionale e commerciale, ma può essere applicato anche a differenti tipologie di edificio. In sostanza, tutti gli edifici commerciali sono idonei alla certificazione LEED Italia: la definizione “commerciale” comprende strutture utilizzate come uffici, negozi e attività di servizio, edifici istituzionali (librerie, musei, chiese, ...), alberghi ed edifici residenziali con almeno quattro piani abitabili. La certificazione LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni é aggiudicata in accordo con la seguente scala di valutazione:

- **Base:** 40-49 punti conseguiti
- **Argento:** 50-59 punti conseguiti
- **Oro:** 60-79 punti conseguiti
- **Platino:** 80 o più punti conseguiti

Gli edifici che raggiungono uno di questi livelli di valutazione riceveranno una lettera formale non appena concluso il processo di certificazione.

7.4. LA CERTIFICAZIONE

7.4.1. SEZIONE 1: SOSTENIBILITA' DEL SITO

SS Prerequisito 1 - Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere

Finalità:

Ridurre l'inquinamento generato dalle attività di costruzione controllando i fenomeni di erosione del suolo e di sedimentazione nelle acque riceventi e la produzione di polveri.

Requisiti:

Sviluppare e implementare un Piano per il Controllo dell'Erosione e della sedimentazione per tutte le attività costruttive riguardanti la realizzazione del progetto.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Sviluppare e implementare un Piano per il Controllo dell'Erosione e della sedimentazione per tutte le attività costruttive riguardanti la realizzazione del progetto.

RISULTATO: **IDONEO**

SS Credito 1: Selezione del sito

Finalità:

Evitare l'edificazione in aree inappropriate e ridurre l'impatto ambientale della localizzazione di un edificio su di un sito.

Requisiti

Non costruire edifici, spazi esterni pavimentati, strade o aree a parcheggio su siti che rispondono ai seguenti criteri:

- Aree agricole ad esclusione di quei terreni che per caratteristiche insediative risultano interclusi all'interno di aree edificate, dove il loro utilizzo agricolo risulta comunque compromesso.
- Siti precedentemente non antropizzati a pericolosità idrogeologica elevata o molto elevata. In particolare per il rischio di esondazione fare riferimento al tempo di ritorno di 100 anni.
- Terreni specificatamente indicati come habitat per le specie minacciate o in pericolo di estinzione contenute nelle liste rosse nazionali o locali, o all'interno delle zone di conservazione speciale ZSC (Direttiva Habitat 92/43CEE) e zone di protezione speciale ZPS (Direttiva Uccelli 79/409CEE).
- Entro 30 m dalle zone umide di "interesse internazionale" ai sensi della Convenzione di Ramsar, resa esecutiva con il Decreto del Presidente della Repubblica n. 448/1976, o all'interno delle aree di protezione di zone umide istituite dalle Regioni e Province Autonome.
- Siti precedentemente non antropizzati entro 15 m da un corpo idrico superficiale che supporta o può supportare vita acquatica, usi ricreativi o produttivi, in accordo con la terminologia del D. Lgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"

- Terreno che prima di essere acquisito per il progetto era un parco pubblico, a meno che un terreno di eguale o maggiore valore come parco pubblico venga accettato in cambio dal proprietario pubblico (i progetti delle Autorità Parco sono esentati).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il sito di progetto non corrisponde a nessuno dei luoghi citati .

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 2 - Densità edilizia e vicinanza ai servizi

Finalità:

Indirizzare lo sviluppo edilizio verso aree urbane dove sono già presenti servizi e infrastrutture, proteggere le aree verdi, preservare l'habitat e le risorse naturali.

Requisiti

Costruire o ristrutturare un edificio in un'area già edificata E all'interno di una zona con una densità edilizia (o un indice di utilizzazione fondiaria) minima di 2,5 m³/m² (oppure 0,8 m²/m²). Oppure costruire o ristrutturare un edificio in un'area che soddisfa i seguenti criteri:

- E' inserita in una zona già precedentemente edificata.
- E' situata entro 800 m da un'area residenziale caratterizzata da una densità media pari a 10 unità abitative ogni 4.000 m² .
- Comprende almeno 10 servizi di base entro un raggio di 800 m.
- E' dotata di accesso pedonale tra l'edificio e i servizi base.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Vista la collocazione del sito di progetto, non è possibile soddisfare i requisiti richiesti.

RISULTATO: **0 PUNTI**

SS Credito 3: Recupero e riqualificazione dei siti contaminati

Finalità:

Bonificare e riqualificare siti degradati dove lo sviluppo insediativo è ostacolato dall'inquinamento ambientale e diminuire così il consumo di suolo non urbanizzato.

Requisiti

Edificare su un sito brownfield, oppure Edificare su un sito da bonificare secondo le anagrafi predisposte dalle singole Regioni e Province Autonome sulla base dei criteri definiti da ISPRA.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il sito di progetto non risponde a nessuna delle aree menzionate.

RISULTATO: **0 PUNTI**

SS Credito 4.1: Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici

Finalità:

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

Requisiti

Localizzare il progetto ad una distanza (misurata da un accesso principale), percorribile a piedi, inferiore a 800 m da una stazione ferroviaria o di metropolitana leggera o sotterranea oppure localizzare il progetto ad una distanza (misurata da un accesso principale), percorribile a piedi, inferiore a 400 m da una o più fermate di due o più linee di autobus pubblici, tram o servizi di bus navetta utilizzabili dagli occupanti dell'edificio.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il sito si trova a 400 metri di distanza dalle fermate degli autobus 540 (linea Carpi-Migliarina) e 3195 (linea Carpi-Reggiolo).

RISULTATO: **6 PUNTI**

SS Credito 4.2: Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi

Finalità:

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

Requisiti

Fornire portabiciclette sicuri e/o depositi ad una distanza inferiore a 200 m dall'entrata dell'edificio per almeno il 5% di tutti gli utenti dell'edificio (misurati nei periodi di punta). Fornire spogliatoi con docce, all'interno dell'edificio o comunque ad una distanza inferiore a 200 m dall'entrata dell'edificio, in misura pari allo 0,5% degli Occupanti Equivalenti a Tempo Pieno (full-time-equivalent FTE).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Sono stati collocati all'interno dell'edificio spogliatoi fruibili dai lavoratori e rastrelliere per deposito biciclette all'ingresso dello stesso.

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 4.3: Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo

Finalità:

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

Requisiti

Prevedere parcheggi preferenziali per veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo 2 per il 5% della capacità totale del parcheggio del sito. In alternativa fornire parcheggi a prezzi scontati per veicoli a bassa emissione o a carburante alternativo.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il parcheggio interrato è stato dotato di due posti auto riservati ai dipendenti possessori di auto elettriche.

RISULTATO: **3 PUNTI**

SS Credito 4.4: Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggioFinalità:

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

Requisiti

Dimensionare la capacità del parcheggio in modo che non superi il minimo stabilito dalle prescrizioni degli strumenti urbanistici locali e prevedere parcheggi preferenziali per carpool/vanpool per il 10 % del totale dei posti macchina previsti, oppure non prevedere nuovi parcheggi negli interventi di ristrutturazione edilizia.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Non è stato possibile soddisfare le richieste.

RISULTATO: **0 PUNTI**

SS Credito 5.1: Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitatFinalità:

Conservare le aree naturali e i paesaggi agrari esistenti, riqualificare le aree danneggiate per fornire habitat a flora e fauna e promuovere la biodiversità.

Requisiti

Nelle aree antropizzate, ripristinare o proteggere almeno il 50% dell'area di progetto (esclusa l'impronta dell'edificio) oppure il 20% dell'area totale del sito (compresa l'impronta dell'edificio), a seconda di quale è maggiore, con vegetazione autoctona o adattata caratterizzata da specie locali non invasive o infestanti. I progetti che soddisfano SS Credito 2 e che prevedono coperture a verde, possono inserire le superfici di tetto verde nel calcolo per il raggiungimento di questo credito purché le piante utilizzate siano autoctone o adattate ,costituiscono habitat e favoriscano la biodiversità.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il giardino esterno e il tetto giardino sono stati piantumati con piante autoctone secondo le specie contenute nel regolamento d'igiene comunale e costituiscono più del 20% dell'area totale del sito.

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 5.2: Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti

Finalità:

Fornire un'elevata quantità di spazio aperto a verde in rapporto all'impronta di sviluppo per promuovere la biodiversità.

Requisiti

Ridurre l'impronta di sviluppo e/o fornire spazio aperto a verde all'interno dell'area di progetto per eccedere del 25% i requisiti previsti dagli strumenti urbanistici locali. In ogni caso la superficie minima di spazio aperto a verde non deve essere inferiore al 20% dell'area di progetto. Oppure, dove esistono strumenti urbanistici locali, ma non danno requisiti minimi di spazio aperto (zero), fornire uno spazio aperto a verde che abbia una superficie maggiore o uguale al 20% dell'area di progetto. In ogni caso, per progetti in aree urbane che soddisfano SS Credito 2, le coperture a verde possono contribuire al raggiungimento di questo credito. Per progetti in aree urbane che soddisfano SS Credito 2, i percorsi pedonali possono contribuire al raggiungimento di questo credito. Per questi progetti, un minimo del 25% dello spazio aperto conteggiato deve essere a verde. Stagni/lagheti di ritenzione possono essere conteggiati come spazio aperto se le sponde hanno pendenza media di 1:4 (verticale:orizzontale) o minore e sono ricoperte di vegetazione.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il verde costituisce più del 20% della superficie di progetto. Le NTA danno indicazioni sulla superficie minima permeabile (SP) e il numero di alberi e arbusti da collocare per metro quadrato. Abbiamo preso il valore di SP e abbiamo verificato che le aree verdi sono maggiori del 25% rispetto quanto richiesto.

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 6.1: Acque meteoriche: controllo della quantità

Finalità:

Limitare le alterazioni della dinamica naturale del ciclo idrologico, mediante la riduzione delle superfici di copertura impermeabili, l'aumento delle infiltrazioni in sito, la riduzione o l'eliminazione dell'inquinamento dal deflusso delle acque meteoriche e l'eliminazione dei contaminanti.

Requisiti

Implementare un piano di gestione delle acque meteoriche per evitare che la portata di picco ed inoltre il volume di scarico dopo lo sviluppo del sito superino la portata e il volume antecedente allo sviluppo per un evento meteorico di 24 ore con un tempo di ritorno di 1 e 2 anni. Oppure implementare un piano di gestione delle acque meteoriche per proteggere gli alvei dei corsi d'acqua da eccessiva erosione. Il piano di gestione delle acque meteoriche deve includere la protezione dell'alveo del corso d'acqua e strategie di controllo quantitativo.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Le strategie adottate per il recupero dell'acqua piovana e il tetto verde, garantiscono che il volume di scarico delle acque meteoriche non superi quello iniziale prima dello sviluppo del sito. Infatti buona parte della pioggia caduta durante l'evento meteorico va a riempire prima le vaschette del sistema di drenaggio del tetto giardino e poi contribuisce al riempimento del serbatoio per il recupero delle acque. Anche la copertura degli uffici contribuisce alla raccolta delle acque, per cui se confrontiamo la situazione attuale con quella anteriore allo sviluppo del sito, possiamo affermare con certezza di aver rispettato i requisiti richiesti.

RISULTATO: **1PUNTO**

SS Credito 6.2: Acque meteoriche: controllo della qualitàFinalità:

Ridurre o eliminare le interruzioni e l'inquinamento dei flussi d'acqua attraverso la gestione del deflusso delle acque piovane.

Requisiti

Implementare un piano di gestione delle acque meteoriche di dilavamento, mediante l'adozione delle migliori pratiche di gestione (BMP, Best Management Practices). Tale piano dovrà realizzare una riduzione delle superfici di copertura impermeabili, promuovere l'infiltrazione e determinare un convogliamento e trattamento del deflusso superficiale, per una quantità pari al 90% della piovosità. Le tecniche utilizzate per il trattamento delle acque meteoriche di dilavamento devono essere in grado di rimuovere l'80% del carico medio annuo di Solidi Sospesi Totali (SST) sviluppatasi, valutando tale percentuale con riferimento ai rapporti di monitoraggio esistenti. Si considera che le BMP raggiungano questi requisiti se sono state progettate in accordo agli standard e alle specifiche prestazionali dettate da regolamentazioni locali, ovvero, in mancanza di queste, dagli specifici manuali di progettazione.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il piano di raccolta e trattamento delle acque prevede un volume inferiore al 90% della piovosità annua.

RISULTATO: **0 PUNTI**

SS Credito 7.1: Effetto isola di calore: superfici esterneFinalità:

Ridurre l'effetto isola di calore (differenze di gradiente termico fra aree urbanizzate e aree verdi) per minimizzare l'impatto sul microclima e sull'habitat umano e animale.

Requisiti

Utilizzare una combinazione delle seguenti strategie per il 50% delle superfici esterne pavimentate (incluso strade, marciapiedi, cortili e parcheggi):

- Ombreggiare entro 5 anni dalla messa a dimora con elementi vegetali vivi che devono essere piantati prima dell'occupazione dell'edificio.

- Ombreggiare con pannelli solari e/o fotovoltaici per la produzione di energia rinnovabile.
- Ombreggiare con elementi architettonici purché rispettino un Indice di Riflessione Solare SRI 1 (Solar Reflectance Index) superiore a 29.
- Impiegare materiali di pavimentazione con un SRI superiore a 29.
- Utilizzare sistemi di pavimentazione permeabile ad elementi grigliati (permeabili almeno al 50%).

OPPURE

Porre sotto copertura almeno il 70% degli spazi adibiti a parcheggio. Sono considerate idonee una, o una combinazione, delle seguenti tipologie:

- Copertura con SRI superiore a 29.
- Copertura eseguita con soluzioni a tetto verde o con vegetazione naturale a condizione che l'ombreggiamento sia efficace entro 5 anni dall'occupazione dell'edificio.
- Coperture eseguite con pannelli solari e/o fotovoltaici utilizzati per la produzione di energia rinnovabile.
- Parcheggi posti all'interno del sedime dell'edificio.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

I parcheggi sono stati totalmente interrati, inoltre gran parte delle superfici esterne sono state eseguite con materiali permeabili.

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 7.2: Effetto isola di calore: coperture

Finalità:

Ridurre le isole di calore (differenze di gradiente termico fra aree urbanizzate e aree verdi) per minimizzare l'impatto sul microclima e sull'habitat umano e animale.

Requisiti

Utilizzare materiali di copertura che abbiano un Indice di Riflessione Solare SRI (Solar Reflectance Index) maggiore o uguale al valore riportato nella tabella sottostante per un minimo del 75% della superficie del tetto. Possono essere utilizzati materiali di copertura con valori di SRI più basso di quelli elencati nella tabella sottostante a condizione che il valore medio pesato di SRI rispetto alla superficie del tetto rispetti il seguente criterio:

$$\frac{\text{Area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{\text{Area totale di copertura}} \cdot \frac{\text{SRI della copertura installata}}{\text{SRI richiesto}} \geq 75\%$$

TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI
Coperture a bassa pendenza	≤15%	78
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29

Oppure installare un sistema di copertura a verde per almeno il 50% della superficie del tetto. In alternativa installare superfici ad elevata albedo e coperture a verde che, in combinazione, soddisfino il seguente criterio:

$$\frac{\text{Area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{0,75} + \frac{\text{Area di tetto verde}}{0,5} \geq \text{Area totale di copertura}$$

TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI
Coperture a bassa pendenza	≤ 15%	78
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29

Strategia adottata e risultati ottenuti:

La copertura metallica è verniciata con una particolare pittura ad alta emissività e riflettanza, che garantisce un SRI>100. La copertura della zona produttiva invece è costituita da vari materiali tra cui il tetto giardino. L'area totale del tetto che rispetta l'SRI viene calcolata al netto dei lucernari e del pavimento galleggiante in legno. Applicando la seconda formula possiamo constatare che:

$$\frac{1500}{0,75} + \frac{1208}{0,5} = 4414 \geq 3400$$

Per cui possiamo affermare di aver rispettato i requisiti richiesti.

RISULTATO: **1 PUNTO**

SS Credito 8: Riduzione dell'inquinamento luminoso

Finalità:

Minimizzare le dispersioni luminose generate dall'edificio e dal sito, limitare la brillantezza della volta celeste al fine di incrementare l'accesso visuale notturno alla volta stessa, migliorare la visibilità notturna attraverso la riduzione del fenomeno dell'abbagliamento e ridurre l'impatto negativo indotto dall'illuminazione dell'edificio durante il periodo notturno.

Requisiti

Ridurre attraverso dispositivi automatici di almeno il 50% tra le 23:00 e le 05:00 la potenza di alimentazione di tutti gli apparecchi di illuminazione interna non di emergenza che hanno visibilità diretta a qualunque apertura (traslucida o trasparente) dell'involucro edilizio. Può essere garantito il controllo dopo l'orario di spegnimento attraverso un dispositivo manuale o un sensore di presenza che permetta lo spegnimento automatico entro 30 minuti. Inoltre illuminare solo le aree esterne dove sono richiesti sicurezza e comfort visivo. Rispettare i criteri indicati dalla normativa UNI 10819 . La potenza luminosa non deve superare quella consentita dallo standard ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007 in base alla classificazione della zona. Dimostrare

che tutti gli apparecchi di illuminazione inseriti nel progetto non emettono luce verso l'alto (rispetto al piano orizzontale passante per l'apparecchio stesso tenuto conto del posizionamento finale degli apparecchi stessi)

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Non è stato possibile soddisfare tutti i requisiti richiesti.

RISULTATO: 0 PUNTI

RISULTATO SEZIONE 1:

16/26

7.4.2. SEZIONE 2: GESTIONE DELLE ACQUE

SS Prerequisito 1: Riduzione dell'uso d'acqua

Finalità:

Aumentare l'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici per ridurre il carico sui sistemi municipali di fornitura dell'acqua e sui sistemi delle acque reflue.

Requisiti

Implementare strategie che complessivamente realizzino un risparmio idrico del 20% rispetto al caso di riferimento calcolato per l'edificio in oggetto (escludendo l'irrigazione). Calcolare il caso di riferimento conformemente ai dati per le attività commerciali e / o residenziali di seguito riportate.

APPARECCHIATURE COMMERCIALI, ACCESSORIE, ED APPLICAZIONI	VALORI DI RIFERIMENTO
WC commerciali	6,0 litri per flusso *
Orinatoi commerciali	4,0 litri per ciclo
Rubinetti di lavabi commerciali	8,5 litri al minuto a 4 bar per applicazioni private (come di hotel, motel, camere di ospedale) 2,0 litri a 4 bar per tutti gli altri eccetto l'utilizzo privato 1 litro per ciclo per rubinetti temporizzati
Rubinetti spray di prelavaggio (applicazione per prodotti alimentari)	Portata ≤ 6,0 litri al minuto (non è specificata alcuna pressione; nessun requisito richiesto)

APPARECCHIATURE RESIDENZIALI, ACCESSORIE, ED APPLICAZIONI	VALORI DI RIFERIMENTO
WC residenziali	6,0 litri per flusso *
Rubinetti di lavabi residenziali	8,5 litri al minuto a 4 bar
Lavelli cucina residenziali	
Doccia residenziale	9, 5 litri al minuto a 5 bar**

I calcoli sono basati sulla stima di utilizzo degli occupanti e dovranno includere solamente le seguenti attrezzature ed accessori (come applicabili all'ambito del progetto): wc, orinatoi, rubinetti lavabo, docce, lavelli cucina e rubinetti spray di prelavaggio.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Sono state adottate strategie che hanno consentito un risparmio nell'uso dell'acqua per una percentuale >20%. Tutti i rubinetti e le docce sono dotati di riduttori di flusso, mentre i WC sono attrezzati con doppio pulsante per lo scarico dell'acqua. Inoltre l'irrigazione esterna viene regolata con un impianto dotato di sensori di pioggia. Il tetto giardino non richiede irrigazione artificiale.

RISULTATO: **IDONEO**

GA Credito 1: Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo

Finalità:

Limitare o evitare l'utilizzo di acque potabili, acque di superficie o del sottosuolo disponibili nelle vicinanze del sito di ubicazione dell'edificio, per scopi irrigui.

Requisiti

OPZIONE 1: Riduzione dei consumi del 50% (2 punti). Riduzione del consumo di acqua potabile per scopi irrigui del 50% rispetto al valore calcolato come base nel periodo pienamente estivo.

OPZIONE 2: Nessun utilizzo di acqua potabile per l'irrigazione (4 punti). Soddisfare l'Opzione 1 e inoltre utilizzare solo acqua captata, acque di rifiuto recuperate, acque grigie riciclate o acque trattate e convogliate da una agenzia pubblica specifica per tutti gli usi non potabili imputati all'irrigazione.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il recupero dell'acqua piovana consente di soddisfare al 100% il fabbisogno irriguo dei giardini interni. Per i giardini esterni invece è previsto un sistema di irrigazione dotato di sensori di pioggia, che consentono una riduzione dei consumi del 50%, che unito al recupero delle acque grigie ci permette di abbassare il fabbisogno di acqua prelevata dalla rete idrica fino al 71%, senza però arrivare alla copertura totale dei consumi per irrigazione. Il tetto giardino non necessita di irrigazione artificiale.

RISULTATO: **2 PUNTI**

GA Credito 2: Tecnologie innovative per le acque reflue

Finalità:

Ridurre la produzione di acque reflue e la richiesta di acque potabili e, nel contempo, incrementare i livelli idrici degli acquiferi.

Requisiti

Riduzione del 50% dell'uso dell'acqua potabile per il convogliamento dei liquami dell'edificio, tramite l'utilizzo di apparecchiature (per esempio toilette e orinatoi) che attuano un contenimento nell'uso dell'acqua, oppure mediante l'utilizzo di acque non potabili (per esempio acqua piovana captata, acque grigie riciclate e acque reflue depurate in sito o provenienti dagli impianti di depurazione a livello municipale). Oppure prevedere il trattamento direttamente sul sito, del 50% delle acque reflue prodotte, fino a raggiungere gli standard terziari. L'acqua dovrà essere successivamente dispersa per infiltrazione o utilizzata nell'area di progetto.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il recupero dell'acqua piovana raccolta dal tetto giardino e dalla copertura degli uffici ci permette di soddisfare interamente il fabbisogno idrico di acqua non potabile (WC, lavatrici, lavastoviglie, pulizia appartamento e luoghi di lavoro). Il risparmio di acqua per il convogliamento dei liquami è quindi del 100%.

RISULTATO: **2 PUNTI**

GA Credito 3: Riduzione dell'uso d'acqua

Finalità:

Aumentare ulteriormente l'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici per ridurre il carico sui sistemi municipali di fornitura dell'acqua e sui sistemi delle acque reflue.

Requisiti

Adottare strategie che complessivamente utilizzino meno acqua rispetto al caso di riferimento calcolato per l'edificio in oggetto (escludendo l'irrigazione). Le percentuali minime di risparmio d'acqua per ogni soglia di punteggio sono le seguenti:

RIDUZIONE PERCENTUALE	PUNTI
30%	2
35%	3
40%	4

Effettuare il calcolo per il caso di riferimento conformemente ai dati per le attività commerciali e/o residenziali. I calcoli sono basati sull'utilizzo stimato degli occupanti e dovranno includere solamente le seguenti attrezzature ed accessori (come applicabili all'ambito del progetto): wc, orinatoi, rubinetti di lavabi, docce, lavelli cucina e valvole a spruzzo di pre-lavaggio.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Come già detto per il prerequisito 1, l'adozione di diffusori areati per i rubinetti della zona residenziale e per le docce, l'utilizzo di rubinetti elettronici e sciaquoni a doppio tasto nelle zone di lavoro, hanno permesso un risparmio idrico che va dal 30% al 40% a seconda dei locali, inoltre il recupero dell'acqua piovana (che garantisce la copertura totale dei consumi di acqua non potabile) e il riuso delle acque grigie (che consente l'irrigazione di tutti i giardini interni e buona parte degli esterni senza usare acqua prelevata dalla rete idrica) generano un risparmio totale del 68% sui consumi dell'intero edificio. Escludendo invece l'irrigazione i benefici si attestano intorno al 64%, quindi ben oltre la soglia del 40%.

RISULTATO: **4 PUNTI**

RISULTATO SEZIONE 2

8/10

7.4.3. SEZIONE 3: ENERGIA E ATMOSFERA

EA Prerequisito 1: Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio

Finalità:

Verificare che i sistemi energetici dell'edificio siano installati, tarati e funzionino in accordo con le richieste del committente, i documenti di progetto e i documenti di appalto. I vantaggi del commissioning includono: la riduzione dei consumi energetici, i minor costi d'esercizio, la riduzione dei contenziosi con l'appaltatore, una miglior documentazione dell'edificio, l'aumento della produttività degli occupanti e la verifica che le prestazioni degli impianti siano in accordo con i requisiti di progetto richiesti dal committente.

Requisiti

Nomina di una persona come responsabile del commissioning chiamato "Commissioning Authority" (CxA) al fine di guidare, rivedere e sovrintendere alle attività di commissioning. La committenza deve produrre l'elaborato Requisiti della Committenza (Owner's Project Requirements, OPR). I progettisti devono sviluppare l'elaborato Assunti della Progettazione (Basis Of Design, BOD). Il CxA deve rivedere questi documenti al fine di verificarne la chiarezza, la completezza e la compatibilità. Il committente e i progettisti sono responsabili degli aggiornamenti dei loro rispettivi documenti. Redazione delle richieste specifiche per le attività di commissioning ed inclusione di queste ultime nella documentazione di progetto e/o di appalto. Sviluppo ed implementazione di un piano di commissioning. Verifica dell'installazione e delle prestazioni degli impianti sottoposti a commissioning. Stesura di una relazione finale sulle attività di commissioning. Le attività di commissioning devono essere applicate come minimo ai seguenti impianti:

- Impianti di riscaldamento, ventilazione, aria condizionata e refrigerazione (HVAC&R) attivi e passivi ed i sistemi di regolazione e controllo ad essi associati.
- Sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale ed illuminazione naturale.
- Sistemi di produzione di acqua calda sanitaria.
- Impianti di produzione di energia rinnovabile (eolico, solare, ...).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

E' stata prevista una fase di commissioning una volta terminati i lavori nell'edificio.

RISULTATO: **IDONEO**

EA Prerequisito 2: Prestazioni energetiche minime

Finalità:

Stabilire un livello minimo d'efficienza energetica per gli edifici e gli impianti proposti, al fine di ridurre gli impatti economici ed ambientali derivanti da consumi eccessivi d'energia.

Requisiti

Rispettare i valori limite di trasmittanza, il rendimento globale medio stagionale minimo, i valori limite sui consumi energetici annui per riscaldamento e raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria, prescritti dal D.Lgs. 192/2005 (come modificato ed integrato dal D.Lgs. 311/2006, dal DPR 59/09 e da ogni altro regolamento energetico nazionale in vigore al momento della registrazione LEED del progetto) o da regolamenti locali più restrittivi. In entrambe le opzioni di calcolo che seguono è necessario dimostrare un miglioramento minimo percentuale della prestazione energetica dell'edificio, pari al 10% per edifici nuovi ed al 5% per grandi ristrutturazioni, attraverso un calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto rispetto a valori standard di riferimento indicati dalla opzione di calcolo prescelta.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Sono state adottate strategie progettuali che hanno contribuito a migliorare l'efficienza energetica della costruzione rispetto ad un edificio di riferimento della stessa tipologia. Ep_i , Ep_e ed Ep_{acs} rispettano i limiti imposti dalla norma, collocandosi in classi più alte della minima prevista.

RISULTATO: **IDONEO**

EA Prerequisito 3: Gestione di base dei fluidi refrigeranti

Finalità:

Ridurre la distruzione dell'ozono stratosferico.

Requisiti

Non utilizzare refrigeranti a base di CFC né di HCFC negli impianti di climatizzazione/refrigerazione nuovi e sostituire quelli non conformi a servizio di edifici esistenti, come d'altra parte prescritto dalla legislazione vigente in Italia, che già da tempo vieta produzione e impiego di CFC e dal 2010 vieta la produzione di HCFC per la ricarica di impianti esistenti. Inoltre non devono essere installati sistemi antincendio che contengano sostanze dannose per l'ozono, come ad esempio CFC, Halons o HCFC.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Non sono stati usati refrigeranti a base di CFC o HCFC negli impianti di climatizzazione.

RISULTATO: **IDONEO**

EA Credito 1: Ottimizzazione delle prestazioni energetiche

Finalità:

Raggiungere livelli crescenti di prestazioni energetiche per gli edifici e gli impianti proposti, superiori ai valori minimi richiesti dalla normativa, al fine di ridurre gli impatti economico-ambientali associati all'uso eccessivo di energia.

Requisiti

Dimostrare un miglioramento percentuale dell'indice di prestazione energetica dell'edificio di progetto, rispetto alla stima dei consumi di energia primaria del corrispondente edificio di riferimento. La stima dei consumi dell'edificio di riferimento deve essere fatta seguendo il Building Performance Rating Method riportato nell'appendice G della norma ANSI/ASHRAE 90.1-2007 (tenendo conto degli Errata ma non degli Addenda) per mezzo di un modello di simulazione numerica dell'intero edificio. I punti sono assegnati in funzione dell'energia risparmiata per il funzionamento globale dell'edificio (simulazione energetica). Le soglie di punteggio con le relative percentuali di energia risparmiata sono riportate nella tabella seguente:

EDIFICIO NUOVO	EDIFICIO ESISTENTE	PUNTI
10%	5%	Prerequisito
12%	8%	1
14%	10%	2
16%	12%	3
18%	14%	4
20%	16%	5
22%	18%	6
24%	20%	7
26%	22%	8
28%	24%	9
30%	26%	10
32%	28%	11
34%	30%	12
36%	32%	13
38%	34%	14
40%	36%	15
42%	38%	16
44%	40%	17
46%	42%	18
48%	44%	19

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Dato che non è stato possibile calcolare i consumi dell'edificio secondo la norma ANSI/ASHRAE 90.1-2007 abbiamo confrontato i fabbisogni energetici del nostro edificio per il periodo invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria con i valori limite prescritti dal DLgs. 311/06 e dal Dgr 1362/2010 della regione Emilia Romagna. Inoltre abbiamo calcolato il valore di EP per il raffrescamento estivo confrontandolo con valori parametrici attribuiti in genere agli edifici per uffici. Anche l'EP per l'illuminazione è stato stimato parametricamente, mentre l'energia di processo è assunta essere il 25% della somma degli EP per un edificio di riferimento (ossia che rispetta i parametri minimi normativi). Il miglioramento riscontrato è stato maggiore del 51%.

RISULTATO: 19 PUNTI

EA Credito 2: Produzione in sito di energie rinnovabili

Finalità:

Promuovere un livello crescente di produzione autonoma di energia da fonti rinnovabili in sito, al fine di ridurre l'impatto ambientale ed economico legato all'uso di energia da combustibili fossili.

Requisiti

Utilizzare sistemi di produzione da fonti rinnovabili in sito per compensare i consumi energetici dell'edificio. Calcolare la prestazione dell'edificio, indicando la produzione energetica da fonti rinnovabili come percentuale del fabbisogno annuo di energia primaria dell'edificio, utilizzando il consumo calcolato con il metodo impiegato per EA Prerequisito 2 e per EA Credito 1. Utilizzare la tabella di seguito riportata per determinare il punteggio.

% ENERGIA RINNOVABILE	PUNTI
2.5 %	1
5 %	2
7.5%	3
10 %	4
12.5 %	5
15 %	6
17.5 %	7

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'uso di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, unito all'installazione di collettori solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e al contributo della pompa di calore, assicurano che l'energia prodotta da fonti rinnovabili copra il 34% del fabbisogno elettrico annuale dell'edificio.

RISULTATO: **7 PUNTI**

EA Credito 3: Commissioning avanzato dei sistemi energetici

Finalità:

Iniziare il processo di commissioning nelle prime fasi della progettazione ed eseguire attività aggiuntive dopo che le verifiche prestazionali degli impianti sono state completate.

Requisiti

Eeguire, direttamente o stipulando un apposito contratto, attività di commissioning in aggiunta a quanto già previsto in EA Prerequisito 1, Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio, ed in accordo con la linea guida di riferimento LEED 2009 Italia.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'azienda si impegna ad eseguire una fase di commissionino avanzato in aggiunta a quello base.

RISULTATO: **2 PUNTI**

EA Credito 4: Gestione avanzata dei fluidi refrigerantiFinalità:

Minimizzare i contributi diretti al surriscaldamento globale.

Requisiti

Non utilizzare refrigeranti, oppure scegliere refrigeranti ed impianti di climatizzazione o refrigerazione che minimizzino o eliminino l'emissione di composti che contribuiscono al riscaldamento globale. Le apparecchiature di climatizzazione o refrigerazione dell'edificio dovranno rispettare la seguente formula, che fissa una soglia massima per il contributo del riscaldamento globale potenziale:

$$LCGWP = [GWPr (Lr Life + Mr) Rc] / Life \leq 13$$

Strategia adottata e risultati ottenuti:

I dati a nostra disposizione non sono sufficienti a svolgere il calcolo.

RISULTATO: **0 PUNTI**

EA Credito 5: Misure e collaudiFinalità:

Fornire una contabilizzazione nel tempo dei consumi energetici dell'edificio in fase di esercizio.

Requisiti

sviluppare ed implementare un piano di misure e verifiche (M&V) in accordo con l'appendice F della norma UNI EN 15378 e con l'opzione D: Calibrated simulation (Savings Estimation Method) presente nell'International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) Volume III: Concepts and Option for Determining Energy Savings in New Construction, April, 2003. Le misure e verifiche (M&V) devono estendersi per un periodo non inferiore ad un anno dopo la costruzione e l'occupazione dell'edificio. Fornire un processo di azioni correttive se i risultati del piano M&V indica che non vengono conseguiti risparmi energetici. La committenza, per consentire un adeguato controllo nel tempo delle prestazioni energetiche dell'edificio, si impegna a rendere disponibili i dati del sistema di supervisione e controllo dell'edificio relativi a quanto specificato nel Piano di Misure e Verifiche. Tali dati dovranno essere messi a disposizione del responsabile del Piano di Misure e Verifiche secondo un formato e/o protocollo approvato da GBC Italia.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'azienda si impegna a rispettare il periodo di un anno di monitoraggio secondo le norme e le modalità indicate.

RISULTATO: **3 PUNTI**

EA Credito 6: Energia verde

Finalità:

Promuovere lo sviluppo e l'impiego di tecnologie per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (ad emissioni zero) con connessione alla rete elettrica nazionale.

Requisiti

Soddisfare almeno il 35% del fabbisogno di energia elettrica dell'edificio con energia prodotta da fonte rinnovabile (energia verde), mediante un contratto di fornitura certificata di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili della durata di almeno due anni. Per documentare il rispetto di questo credito possono essere usate certificazioni RECS e GO rilasciate dal GSE o altre forme di certificazione riconosciute da autorevoli enti nazionali o internazionali, basate su sistemi di certificazione di origine attestanti la provenienza dell'energia elettrica da impianti alimentati da fonti di energia rinnovabile e la corretta contabilizzazione della stessa. L'energia acquistata per l'ottenimento di questo credito deve soddisfare i requisiti individuati dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. La definizione di fonte rinnovabile è data dall'Art.2 del D.Lgs 387/2003. Si utilizzi il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio che risulta dai calcoli effettuati per EA Prerequisito 2 e EA Credito 1.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'energia autoprodotta attraverso l'impianto fotovoltaico copre già il 18% del fabbisogno elettrico totale annuo. Per la restante percentuale l'azienda si impegna a sottoscrivere un contratto di fornitura di energia che garantisca il raggiungimento della soglia minima di rinnovabili prescritta da LEED.

RISULTATO: **2 PUNTI**

RISULTATO SEZIONE 3

33/35

7.4.4. SEZIONE 4: MATERIALI E RISORSE

MR Prerequisito 1: Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili

Finalità:

Ridurre la quantità di rifiuti prodotti dagli occupanti dell'edificio che vengono trasportati e smaltiti in discarica.

Requisiti

Predisporre una zona facilmente accessibile all'intero edificio dedicata alla raccolta e allo stoccaggio di materiali destinati al riciclaggio, tra cui, come minimo, carta, cartone, vetro, plastica, metalli e umido (rifiuti organici).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

E' stato posizionato un grande locale rifiuti dedicato alla raccolta differenziata comunicante direttamente con lo store e il magazzino. Il locale risulta facilmente accessibile anche dagli uffici e dalla zona eventi visto che si trova a ridosso dell'ascensore e delle scale.

RISULTATO: **IDONEO**

MR Credito 1.1: Riutilizzo degli edifici: mantenimento di murature, solai e coperture esistenti

Finalità:

Estendere il ciclo di vita del patrimonio edilizio esistente, preservare le risorse, conservare i beni culturali, ridurre i rifiuti e l'impatto ambientale delle nuove costruzioni anche in relazione alla produzione e al trasporto dei materiali.

Requisiti

Mantenere la struttura dell'edificio esistente (inclusi i solai portanti e le coperture) e dell'involucro edilizio (rivestimento esterno e pareti, ad esclusione di finestre e materiali di rivestimento non strutturali). Materiali pericolosi che vengono bonificati e adattati per essere impiegati come parte del progetto devono essere esclusi dal calcolo delle percentuali mantenute. La percentuale minima di riutilizzo di un edificio assegna i seguenti punti:

RIUTILIZZO DEGLI EDIFICI	PUNTI
55%	1
75%	2
95%	3

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Trattandosi di una nuova costruzione, non è stato possibile rispettare i requisiti richiesti.

RISULTATO: **0 PUNTI**

MR Credito 1.2: Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni

Finalità:

Estendere il ciclo di vita del patrimonio edilizio esistente, preservare le risorse, conservare i beni culturali, ridurre i rifiuti e l'impatto ambientale delle nuove costruzioni anche in relazione alla produzione e al trasporto dei materiali.

Requisiti

Mantenere gli elementi non strutturali interni esistenti (tramezze, porte, rivestimenti di pavimenti e di soffitti) per almeno il 50% (come superficie) dell'edificio finito, ampliamenti compresi. Se il progetto include un ampliamento di un edificio, questo credito non è perseguibile se l'estensione dell'ampliamento è maggiore del doppio di quella dell'edificio esistente.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Trattandosi di una nuova costruzione, non è stato possibile rispettare i requisiti richiesti.

RISULTATO: **0 PUNTI**

MR Credito 2: Gestione dei rifiuti da costruzione

Finalità:

Deviare i rifiuti delle attività di costruzione e demolizione dal conferimento in discarica o agli inceneritori. Reimmettere le risorse riciclabili recuperate nel processo produttivo e reindirizzare i materiali riutilizzabili in appositi siti di raccolta.

Requisiti

Riciclare e/o recuperare i rifiuti non pericolosi derivanti dalle attività di costruzione e demolizione. Sviluppare e implementare un piano di gestione dei rifiuti di cantiere che, come minimo, identifichi i materiali da non conferire in discarica e se questi siano separati in sito in modo differenziato o meno. Il terreno di scavo e i detriti risultanti dallo sgombero del terreno non contribuiscono a questo credito. I calcoli possono essere fatti secondo il peso o il volume, mantenendo poi la stessa unità di misura per tutti i calcoli. La soglia percentuale minima di rifiuti da riciclare o recuperare per ogni punto è la seguente:

RICICLATO O RECUPERATO	PUNTI
50%	1
75%	2

Strategia adottata e risultati ottenuti:

In questa fase non è stato possibile calcolare la percentuale di rifiuti riciclati sul totale prodotto in cantiere.

RISULTATO: **0 PUNTI**

MR Credito 3: Riutilizzo dei materiali

Finalità:

Riutilizzare materiali e prodotti da costruzione in modo da ridurre la domanda di materiali vergini e da ridurre i rifiuti, diminuendo in questo modo gli impatti ambientali associati all'estrazione ed ai processi di lavorazione delle materie prime.

Requisiti

Usare materiali recuperati, restaurati o riutilizzati in modo che la loro somma costituisca almeno il 5% o il 10%, basato sul costo, del valore totale dei materiali del progetto. La soglia percentuale minima di materiale riutilizzato per il raggiungimento di ciascun punto è di seguito riportata:

MATERIALI RIUTILIZZATI	PUNTI
5%	1
10%	2

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Nel nostro edificio non sono presenti materiali o prodotti riutilizzati per soddisfare la percentuale minima.

RISULTATO: 0 PUNTI

MR Credito 4: Contenuto di riciclato

Finalità:

Aumentare la domanda di prodotti da costruzione che contengano materiali a contenuto di riciclato, riducendo in tal modo gli impatti derivanti dall'estrazione e dalla lavorazione di materiali vergini.

Requisiti

Utilizzare materiali con un contenuto di riciclato tale che la somma del contenuto di riciclato post-consumo e della metà del contenuto pre-consumo costituisca almeno il 10% o il 20% basato sul costo del valore totale dei materiali utilizzati nel progetto. La percentuale di soglia minima di contenuto di riciclato per il raggiungimento di ciascun punto è la seguente:

CONTENUTO DI RICICLATO	PUNTI
10%	1
20%	2

La percentuale del contenuto di riciclato nei materiali assemblati, deve essere determinata in base al peso. La frazione di riciclato contenuta nell'assemblato va quindi moltiplicata per il costo dell'assemblato in modo da determinare il valore del contenuto di riciclato.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il contenuto di riciclato per la nostra struttura in acciaio e le parti in alluminio non raggiunge una percentuale in costo sufficiente a garantire il credito.

RISULTATO: **0 PUNTI**

MR Credito 5: Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)

Finalità:

Incrementare la domanda di materiali e prodotti da costruzione che siano estratti e lavorati a distanza limitata, sostenendo in tal modo l'uso di risorse locali e riducendo gli impatti sull'ambiente derivanti dal trasporto. Favorire l'utilizzo di trasporti a limitato impatto ambientale come quello su rotaia o via mare.

Requisiti

Utilizzare materiali e prodotti da costruzione che siano stati estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio di 350 km dal sito di costruzione per un minimo del 10% o del 20% (basato sui costi) del valore totale dei materiali. Se solo una frazione di un prodotto o di un materiale viene estratto / raccolto / recuperato / lavorato localmente, allora solo quella percentuale (in peso) contribuirà al credito. Oppure utilizzare materiali e prodotti da costruzione che siano stati estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio di 1050 km dal sito di costruzione per un minimo del 10% o del 20% (basato sui costi) del valore totale dei materiali trasportati via ferrovia o via mare. Se solo una frazione di un prodotto o di un materiale viene estratto / raccolto / recuperato / lavorato localmente, allora solo quella percentuale (in peso) contribuirà al credito. La soglia percentuale minima di materiale estratto, lavorato e prodotto a distanza limitata per il raggiungimento di ciascun punto è di seguito riportata:

MATERIALI ESTRATTI, LAVORATI E PRODOTTI A DISTANZA LIMITATA	PUNTI
10%	1
20%	2

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il raggio è talmente ampio che possiamo affermare di aver rispettato questo requisito per più del 20% dell'edificio. Basta pensare solo al calcestruzzo (proveniente da cava regionale) e all'acciaio utilizzato per la struttura (sempre di provenienza regionale)

RISULTATO: **2 PUNTI**

MR Credito 6: Materiali rapidamente rinnovabili

Finalità:

Ridurre l'uso e lo sfruttamento delle materie prime e dei materiali a lungo ciclo di rinnovamento, sostituendoli con materiali rapidamente rinnovabili.

Requisiti

Usare materiali e prodotti da costruzione rapidamente rinnovabili per almeno il 2,5% del costo totale di tutti i materiali e prodotti da costruzione usati nel progetto. Materiali e prodotti da costruzione rapidamente rinnovabili sono ricavati da piantagioni che hanno un ciclo di raccolta non superiore a 10 anni.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il legno usato per la costruzione della struttura e i pannelli di paglia utilizzati per l'isolamento permettono di superare ampiamente il 2,5% del costo totale dell'edificio.

RISULTATO: **1 PUNTO**

MR Credito 7: Legno certificato

Finalità:

Incoraggiare l'uso ecologico e responsabile della gestione forestale.

Requisiti

Per componenti da costruzione in legno utilizzare materiali e prodotti certificati secondo i principi ed i criteri indicati dal Forest Stewardship Council's (FSC) per almeno il 50% del totale (sulla base del valore economico)

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'azienda che fornisce il legname per la costruzione della struttura lamellare è in possesso della certificazione FSC, questo è sufficiente a superare il 50% del valore economico di tutti i materiali legnosi.

RISULTATO: **1 PUNTI**

RISULTATO SEZIONE 4

4/14

7.4.5. SEZIONE 5: QUALITA' AMBIENTALE INTERNA

QI Prerequisito 1: Prestazioni minime per la qualità dell'aria

Finalità:

Determinare i minimi prestazionali per la qualità dell'aria interna all'edificio, in modo da tutelare la salute degli occupanti, migliorare la qualità dello spazio abitato e contribuire al raggiungimento delle condizioni di comfort degli occupanti stessi.

Requisiti

devono essere assicurate almeno le portate di ventilazione indicate nella UNI EN 15251 con riferimento alla Classe II. Per gli edifici non residenziali si deve fare riferimento alla categoria low polluting buildings. Per gli edifici non residenziali: oltre al soddisfacimento del punto precedente, relativo all'individuazione delle portate di ventilazione, devono essere rispettati i criteri progettuali della UNI EN 13779.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il progetto di ventilazione prevede ricambi d'aria superiori a quelli richiesti dalla norma UNI EN 15251.

RISULTATO: **IDONEO**

QI Prerequisito 2: Controllo ambientale del fumo di tabacco

Finalità:

Minimizzare l'esposizione al fumo di tabacco ambientale (ETS - Environmental Tobacco Smoke) degli occupanti l'edificio, delle aree interne e dei sistemi di ventilazione.

Requisiti

Divieto di fumo entro una distanza di almeno 8 metri dagli ingressi e dalle finestre apribili. Definire con opportuna segnaletica le zone in cui sia consentito fumare, in cui sia vietato fumare o di vietare il fumo su tutta la proprietà.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Nell'edificio saranno adottati tutti i criteri elencati.

RISULTATO: **IDONEO**

QI Credito 1: Monitoraggio della portata dell'aria di rinnovo

Finalità:

Fare in modo che il sistema di monitoraggio della ventilazione contribuisca a mantenere il comfort ed il benessere degli occupanti.

Requisiti

Installare sistemi di monitoraggio permanenti per assicurare il mantenimento dei requisiti minimi di ventilazione di progetto. Configurare tutte le componenti dei sistemi di monitoraggio per generare un segnale d'allarme quando i livelli dello scostamento dei valori di CO₂ variano rispetto ai valori di progetto del 10% o più; l'allarme generato

dall'impianto automatico deve essere inviato al gestore dell'edificio o, attraverso un allarme visivo e audio, agli occupanti dell'edificio.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Sono stati installati sensori di anidride carbonica per monitorare la concentrazione di CO₂ all'interno dell'edificio come da requisito.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 2: Incremento della ventilazione

Finalità:

Fornire un ricambio d'aria addizionale al fine di migliorare la qualità dell'aria interna e promuovere il comfort, il benessere e la produttività degli occupanti. Tale requisito è necessario in quanto i livelli di inquinamento interno, nel momento di occupazione degli spazi, sono difficilmente controllabili con i livelli minimi di ventilazione suggeriti dalla legislazione vigente.

Requisiti

CASO 1. Spazi ventilati meccanicamente

Per tutti i progetti: devono essere assicurate come minimo le portate di ventilazione indicate nella UNI EN 15251 con riferimento Classe I. Per gli edifici non residenziali si deve fare riferimento alla categoria low polluting buildings.

Per gli edifici non residenziali: oltre al soddisfacimento del punto precedente, relativo all'individuazione delle portate di ventilazione, devono essere rispettati i criteri progettuali della UNI EN 13779.

CASO 2. Spazi ventilati naturalmente

Progettare sistemi di ventilazione naturale in accordo alle raccomandazioni definite dalla Carbon Trust Good Practice Guides 237 (1998). Assicurarsi che la ventilazione naturale sia una strategia efficace per il progetto, seguendo i diagrammi di flusso mostrati in figura 1.18 del Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) Application Manual 10:2005, Natural ventilation in non-domestic buildings.

E INOLTRE

Soluzione 1.

Dimostrare, con diagrammi e calcoli, che il progetto della ventilazione naturale è in accordo con le prescrizioni contenute nel CIBSE AM10:2005, Natural ventilation in non-domestic buildings

OPPURE

Soluzione 2.

Usare un modello macroscopico, multi-zona, analitico per assicurarsi che tutte le stanze considerate singolarmente siano effettivamente ventilate naturalmente, considerando come valore minimo quello fornito dall'ASHRAE 62.1-2007, capitolo 6, per almeno il 90% degli spazi occupati.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il progetto di ventilazione assicura un ricambio d'aria che soddisfa la norma UNI EN 15251 in classe I

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 3.1: Piano di gestione IAQ: fase costruttiva

Finalità:

Ridurre i problemi di qualità dell'aria interna derivanti dai processi di costruzione/ristrutturazione al fine di garantire il comfort ed il benessere degli addetti ai lavori di costruzione e degli occupanti l'edificio.

Requisiti

Sviluppare ed implementare un Piano di Gestione della Qualità dell'Aria Interna (Indoor Air Quality, IAQ) per la fase costruttiva e quella precedente l'occupazione dell'edificio, come segue:

- In fase costruttiva, raggiungere o superare i requisiti (Control Measures) indicati in IAQ Guidelines for Occupied Buildings under Construction, 2° edizione 2007, edito da ANSI/SMACNA 008-2008 (capitolo 3), Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association (2007), oppure raggiungere o superare i requisiti indicati all'interno delle Linee guida reti aerauliche - (Progettazione, costruzione, installazione, collaudo e manutenzione), edite da AiCARR e mutate dalla linea guida SMACNA.
- Proteggere i materiali assorbenti, installati o stoccati sul sito, da danni derivanti dall'umidità.
- In fase costruttiva, se si utilizzano unità di trattamento aria installate in maniera permanente, su ogni griglia dell'aria di ritorno vanno previsti filtri almeno di classe F5, secondo la norma UNI EN 779:2005. Prima dell'occupazione, sostituire tutti i sistemi di filtrazione.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Dato che non siamo in grado di garantire il rispetto di tutti i requisiti richiesti, non vengono attribuiti crediti a questo punto.

RISULTATO: **0 PUNTI**

QI Credito 3.2: Piano di gestione IAQ: prima dell'occupazione

Finalità:

Ridurre i problemi di qualità dell'aria interna derivanti dai processi di costruzione/ristrutturazione al fine di garantire il comfort ed il benessere degli operai al lavoro e degli occupanti l'edificio.

Requisiti

Sviluppare ed implementare un Piano di Gestione della Qualità dell'Aria Interna (Indoor Air Quality, IAQ) dopo che tutte le finiture siano state realizzate e che l'edificio sia stato completamente pulito prima dell'occupazione, come segue:

Terminata la fase costruttiva, prima dell'inizio dell'occupazione, dopo aver realizzato tutte le finiture interne, effettuare un flush-out dell'edificio fornendo una quantità maggiore di 4.400 m³ di aria esterna per ogni metro quadro di superficie interna, mantenendo contemporaneamente una temperatura interna superiore a 16 °C e una umidità relativa non superiore al 60%. Oppure se si vuole occupare l'edificio prima della fine del flush-out, ciò può avvenire dopo la fornitura di almeno 1.100 m³ di aria

esterna per ogni metro quadro di superficie interna. Una volta occupati gli spazi, questi vanno ventilati con un tasso d'aria esterna pari al valore maggiore tra $5,5 \text{ m}^3 (\text{h m}^2)^{-1}$ ed il tasso minimo determinato nel Prerequisito QI 1. Durante ogni giorno del periodo di flush-out, la ventilazione deve cominciare almeno 3 ore prima dell'occupazione e perdurare durante essa. Tali condizioni vanno mantenute fino all'immissione in totale di almeno 4.400 m^3 di aria esterna per ogni metro quadro di superficie interna.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

La strategia che abbiamo deciso di adottare è quella del flush-out di 1100 m^3 e successiva occupazione dell'edificio con ricambio dell'aria maggiorato. Il tempo necessario al flush-out è stimato essere intorno ai 13 giorni.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 4.1: Materiali basso emissivi: adesivi, primer, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno

Finalità:

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort ed il benessere degli installatori e degli occupanti.

Requisiti

Tutti gli adesivi, primers, sigillanti, prodotti cementizi e vernici per legno usati all'interno dell'edificio devono soddisfare il seguente requisito:

I prodotti devono rispettare la classificazione GEV Emicode EC1. I limiti relativi ai Composti Organici Volatili (VOC) elencati in Tabella 1 corrispondono all'ultimo aggiornamento GEV (Testing Method ed. 03.03.2009). Tutti i materiali devono altresì rispettare i limiti di emissione di sostanze cancerogene, tossiche o mutagene (CMR), così come previsto dal protocollo GEV.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Tutti i materiali elencati rispettano i requisiti richiesti come dimostrato dalle relative schede tecniche.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 4.2: Materiali basso emissivi: pitture

Finalità:

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort ed il benessere degli installatori e degli occupanti.

Requisiti

Le pitture usate all'interno dell'edificio devono attenersi ai seguenti criteri:

La Direttiva 2004/42/CE, che disciplina il contenuto massimo ammissibile di VOC all'interno delle formulazioni di pitture (espresso in g/l), è stata emendata per ridurre ulteriormente il tenore di solventi nei prodotti, secondo quanto riportato:

CATEGORIA DI PRODOTTO	LIMITE VOC [g/l]
Pitture per interni per soffitto o pareti	20
Pitture per finiture e rivestimenti interni di legno/metallo	100
Vernici e impregnanti per legno	70

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Tutti i materiali elencati rispettano i requisiti richiesti come dimostrato dalle relative schede tecniche.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 4.3: Materiali basso emissivi: pavimentazioni

Finalità:

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort ed il benessere degli installatori e degli occupanti.

Requisiti

Tutte le tipologie di pavimentazioni devono soddisfare i seguenti requisiti idonei alle caratteristiche del progetto:

- Tutte le moquettes installate all'interno dell'edificio devono essere conformi ai requisiti di produzione e verifica del programma Green Label Plus del Carpet and Rug Institute.
- Tutte le finiture per le moquettes all'interno dell'edificio devono soddisfare le richieste del programma Green Label del Carpet and Rug Institute (CRI).
- Tutti gli adesivi devono soddisfare i requisiti di QI Credito 4.1, Materiali basso emissivi: adesivi, primers, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno.
- Tutte le pavimentazioni resilienti devono essere certificate con il sistema FloorScore (come indicato per il 2009, o con versione maggiormente restrittiva) da un ente terzo indipendente. (il testo del credito fa riferimento esplicito a diverse tipologie di pavimentazioni a superficie dura (compresi i battiscopa): pavimenti vinilici, linoleum, laminato, legno, pavimenti ceramici, gomma).
- In alternativa dimostrare che il 100% delle pavimentazioni resilienti è certificato FloorScore e deve costituire almeno il 25% dell'area calpestabile finita totale dell'edificio. Tra le pavimentazioni non finite possono essere incluse aree tecniche al grezzo, ascensori,

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Tutti i materiali elencati rispettano i requisiti richiesti

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 4.4: Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali

Finalità:

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort ed il benessere degli installatori e degli occupanti.

Requisiti

I prodotti in legno composito e in fibre vegetali usati all'interno dell'edificio (posti all'interno dell'involucro impermeabile e applicati in sito) non devono contenere aggiunte di resine urea-formaldeide. Gli adesivi da giunzione usati in sito e gli assemblati in fibre vegetali e legno composito non devono contenere aggiunte di resine urea-formaldeide. I prodotti in legno composito e in fibre vegetali sono definiti come: pannelli, pannelli di fibre a media densità (MDF), compensato, pannelli di grano, pannelli di paglia, sottostrati di pannelli e anime di porte. Mobilio ed equipaggiamenti non sono considerati elementi base dell'edificio e non sono inclusi.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Tutti i materiali elencati rispettano i requisiti richiesti.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 5: Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor

Finalità:

Minimizzare l'esposizione degli occupanti a particolato ed inquinanti chimici potenzialmente pericolosi.

Requisiti

Minimizzare e controllare l'ingresso di inquinanti all'interno degli edifici, e la successiva contaminazione delle aree regolarmente occupate, secondo le seguenti strategie:

- Lungo le vie d'accesso all'edificio, che fungono da regolare punto d'ingresso per gli utenti, impiegare barriere antisporco permanenti, di lunghezza pari ad almeno 3 m nella principale direzione di flusso, per intercettare lo sporco e gli inquinanti in ingresso all'edificio. Tra le barriere antisporco accettabili, sono comprese grate, griglie o sistemi fessurati ad installazione permanente, che permettono la pulizia della zona sottostante. I tappeti/zerbini sono accettabili solamente se è previsto un contratto per la loro pulizia settimanale (o dal personale di pulizia per quanto riguarda le scuole). Progetti Core & Shell che non dispongono di sistemi di ingresso non possono conseguire questo credito.
- Ogni spazio in cui i gas pericolosi o sostanze chimiche possono essere presenti o utilizzati (garage, lavanderie, vani di servizio destinati al deposito di detersivi, aree con stampanti/fotocopiatrici), deve essere sottoposto ad aspirazione in modo da creare, con porte e finestre chiuse, una depressione rispetto agli spazi adiacenti. Per ognuno di questi spazi, prevedere porte a chiusura automatica e partizioni da pavimento a soffitto, oppure controsoffitti a tenuta. La portata

specifica di aria aspirata deve essere pari ad almeno $10 \text{ m}^3 (\text{h m}^2)^{-1}$, senza ricircolo. La differenza di pressione rispetto agli spazi adiacenti deve essere mediamente di almeno 7 Pa (0,71 mm c.a.), con un minimo di 5 Pa (0,51 mm c.a.) quando le porte sono chiuse.

- Negli edifici con ventilazione meccanica, nelle aree regolarmente occupate, installare, prima dell'occupazione, filtri d'aria antipolvere almeno di classe F7. Devono essere sottoposte a filtrazione sia l'aria di ritorno, sia l'aria immessa.
- Fornire contenitori adeguati (ad esempio l'adozione di un contenitore chiuso per la conservazione di sostanze preferibilmente al di fuori dell'edificio e al di fuori del sito di smaltimento situato in un'area di deposito a norma) per lo smaltimento di rifiuti liquidi pericolosi nei luoghi in cui possa avvenire una miscelazione tra l'acqua e sostanze chimiche concentrate. (ad esempio vani di servizio, locali detersivi e laboratori di scienze).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

I requisiti non sono rispettati.

RISULTATO: **0 PUNTI**

QI Credito 6.1: Controllo e gestione degli impianti: illuminazione

Finalità:

Fornire ai singoli ed ai gruppi di utenti la possibilità di effettuare una regolazione dell'impianto di illuminazione compatibile con le loro necessità (es. aule, sale conferenze o singoli posti di lavoro) in modo da favorire la produttività e il comfort degli occupanti l'edificio.

Requisiti

Garantire la possibilità di una regolazione individuale dell'impianto di illuminazione per almeno il 90% degli occupanti in maniera da poter adattare l'intensità luminosa alle necessità e alle referenze individuali. Garantire il controllo dell'impianto di illuminazione in tutti gli spazi collettivi in maniera da poter adattare l'intensità luminosa alle necessità e alle preferenze del gruppo di utenti.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Tutte le postazioni di lavoro sono dotate di lampade a regolazione, mentre le aree comuni hanno un controllo centralizzato dell'intensità luminosa che regola la potenza di illuminazione a seconda della presenza di persone e della luce naturale già presente al momento.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 6.2: Controllo e gestione degli impianti: comfort termico

Finalità:

Permettere un elevato livello di controllo sugli impianti, atti a garantire il comfort termico, da parte dei singoli utenti o di gruppi di persone che utilizzano gli spazi collettivi (ad esempio aule, sale conferenze, ...), in modo da favorire il comfort, il benessere e la produttività degli occupanti dell'edificio.

Requisiti

Garantire possibilità di controllo e regolazione individuale del comfort per almeno il 50% degli occupanti dell'edificio, al fine di consentire la regolazione locale e il conseguente soddisfacimento dei bisogni e delle preferenze individuali. Le finestre apribili possono essere usate, al posto di sistemi individuali di controllo degli impianti, per gli occupanti di quelle aree che distano meno di 6 m dalla parete esterna e lateralmente meno di 3 m da una delle due estremità del serramento apribile. La superficie delle finestre apribili deve rispettare i requisiti minimi del paragrafo 5.1 (ventilazione naturale) della norma ASHRAE 62.1-2007 o del regolamento edilizio locale (qualora maggiormente restrittivo), e deve comunque essere superiore al 4% della superficie netta del pavimento. Dotare di regolazioni d'impianto ogni spazio condiviso da più occupanti al fine di consentire una regolazione che soddisfi i bisogni e le preferenze del gruppo. Le condizioni di comfort termico sono descritte nella norma UNI EN ISO 7730:2006, compresi i parametri ambientali principali da cui dipende la percezione globale del comfort termico: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità e umidità dell'aria. I sistemi di regolazione del comfort, per gli scopi di questo credito, sono quelli che permettono il controllo nell'ambiente occupato di almeno uno dei parametri ambientali principali.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Le aree comuni dispongono di un dispositivo di monitoraggio e regolazione che può essere comandato manualmente al fine di regolare i fattori climatici richiesti nel requisito. Nelle stanze di dimensione minore sono spesso presenti finestre apribili che consentono la regolazione termica individuale.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 7.1: Comfort termico: progettazioneFinalità:

Fornire un ambiente termicamente confortevole che favorisca il benessere e la produttività degli occupanti dell'edificio.

Requisiti

Progettare gli impianti HVAC e l'involucro edilizio in modo da rispettare i requisiti della norma UNI EN 15251:2008 e UNI 10339 e le condizioni di comfort termico per gli occupanti verificate con il metodo descritto nella UNI EN ISO 7730:2006. Dimostrare la conformità del progetto in accordo con la sezione 6.1.1 della norma ASHRAE 55-2004.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il progetto degli impianti HVAC rispetta i requisiti delle norme UNI EN 15251 e 10339.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 7.2: Comfort termico: verifica

Finalità:

Fornire una valutazione nel tempo del comfort termico dell'edificio.

Requisiti

Conseguire QI Credito 7.1, Comfort termico: progettazione, ed inoltre nel periodo compreso fra i 6 e i 18 mesi successivi all'occupazione dell'edificio, realizzare fra gli occupanti un sondaggio sul comfort termico. Questo sondaggio dovrà raccogliere risposte anonime sul comfort termico nell'edificio, includendo una valutazione complessiva sulla soddisfazione delle prestazioni termiche e l'identificazione degli eventuali problemi legati al comfort termico. Se il risultato del sondaggio indica che più del 20% degli occupanti risultano insoddisfatti del comfort termico dell'edificio, andrà sviluppato un piano per azioni di correzione. Questo piano dovrà includere delle misure delle variabili rilevanti nelle aree del comfort scadente in accordo con le norme UNI EN ISO 7730:2006, UNI EN 15251:2008 e UNI EN ISO 7726:2002.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Prevediamo di effettuare tale sondaggio ed eventualmente redigere un piano correttivo laddove fossero riscontrata una percentuale di insoddisfazione maggiore del 20%.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 8.1: Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi

Finalità:

Nelle aree occupate in modo continuativo garantire il contatto diretto degli occupanti dell'edificio con l'ambiente esterno attraverso l'illuminazione naturale degli spazi e una adeguata percezione visiva dell'esterno.

Requisiti

Sono previsti svariati metodi di calcolo nella certificazione, quello scelto da noi consiste nel dimostrare che il livello di FLD è maggiore del 2% per più del 75% delle aree occupate in modo continuativo.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Dall'analisi svolta sull'illuminazione naturale è emerso che per più del 75% delle aree occupate in modo continuativo è garantito un FLD maggiore del 2%, come richiesto dalla certificazione.

RISULTATO: **1 PUNTO**

QI Credito 8.2: Luce naturale e visione: visuale esterna per il 90% degli spazi

Finalità:

Garantire agli occupanti dell'edificio, nelle aree occupate in modo continuativo, il contatto diretto degli occupanti dell'edificio con l'ambiente esterno attraverso l'illuminazione naturale degli spazi e un'adeguata percezione visiva dell'esterno.

Requisiti

Assicurare, in almeno il 90% degli spazi occupati in modo continuativo, che attraverso le superfici trasparenti poste ad un'altezza misurata a partire dal piano di calpestio compresa tra 0.85 e 2.3 m, gli occupanti abbiano una visione diretta verso l'ambiente esterno senza ostacoli interposti. Se ciò non fosse possibile, gli occupanti devono avere la possibilità di una visuale di più ampio respiro (vista di qualità) come per esempio verso un atrio (corte interna). La superficie totale degli spazi occupati in modo continuativo in cui è garantito questo requisito viene determinata con i seguenti criteri: in pianta, la superficie corrisponde alla porzione in cui in ogni punto è garantita la vista diretta verso l'esterno attraverso le superfici trasparenti perimetrali; in sezione, da qualsiasi punto dell'area definita come sopra, deve poter essere tracciata una linea di visuale diretta verso l'esterno attraverso le superfici trasparenti perimetrali. Le linee di vista possono essere tracciate anche attraverso partizioni interne trasparenti. Per uffici singoli, si computa l'intera superficie dell'ufficio se in almeno il 75% dell'area è possibile la visione diretta dell'esterno attraverso le superfici trasparenti. Al contrario, per spazi occupati da più persone (open space) si conteggia solo l'area effettiva in cui le superfici trasparenti garantiscono la visione diretta dell'esterno. In aree urbane densamente costruite la visuale verso un ambiente con valenze paesaggistiche e ambientali non è sempre possibile. Quando la visuale all'esterno si può rivolgere esclusivamente verso altri edifici o verso il cielo e la strada, è consigliabile prevedere, dove possibile, delle aperture vetrate che permettano all'utente di usufruire di "viste dinamiche", ovvero visuali in cui lo scenario visivo è soggetto a cambiamenti, sia per effetto dell'attività umana svolta all'esterno dell'edificio, sia per i cambiamenti delle condizioni meteorologiche. (si veda British Standard BS 8203: Part2:1992 in Pubblicazioni). Una vista dinamica, infatti, può contribuire a incrementare il benessere visivo e la produttività degli occupanti.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Il requisito è rispettato, dato che per più del 90% degli spazi occupati in modo continuativo (store, uffici e aree di lavoro del magazzino) è assicurata la visione diretta verso l'esterno.

RISULTATO: **1 PUNTO**

RISULTATO SEZIONE 5

13/15

7.4.6. SEZIONE 6: INNOVAZIONE NELLA PROGETTAZIONE

IP Credito 1: Innovazione nella progettazione

Finalità:

Consentire ai gruppi di progettazione ed ai progetti di conseguire prestazioni esemplari rispetto ai requisiti previsti dal sistema LEED e/o prestazioni innovative negli ambiti della sostenibilità non specificatamente trattati in LEED.

Requisiti

Il conseguimento del credito può essere realizzato con una combinazione dei percorsi di seguito riportati:

PERCORSO 1. Innovazione nella progettazione (1-5 punti)

Conseguire un miglioramento significativo e misurabile nelle prestazioni dell'edificio in termini di sostenibilità ambientale. E' assegnato un punto per ciascuna innovazione introdotta fino ad un massimo di 5 punti. Devono essere identificati i seguenti aspetti:

- Finalità della soluzione proposta nel credito.
- Requisiti prestazionali proposti per la conformità al credito.
- Proposta di documentazione necessaria alla dimostrazione del raggiungimento del requisito prestazionale.
- Approccio progettuale applicato per il raggiungimento dei requisiti.

PERCORSO 2. Prestazioni esemplari (1-3 punti)

Raggiungimento di una prestazione eccezionale per un prerequisito o credito di LEED Italia per cui sono presenti indicazioni relative alla sezione Prestazione esemplare come specificato nel manuale. In generale, in questa categoria può essere conseguito un punto attraverso il superamento di oltre il doppio dei parametri richiesti dai requisiti e/o il raggiungimento della soglia incrementale successiva dei crediti LEED. Possono essere ottenuti per questo percorso fino a un massimo di tre punti (un punto per ogni prestazione esemplare).

Strategia adottata e risultati ottenuti:

L'unico caso in cui possiamo ipotizzare di ricevere questo punteggio aggiuntivo è in EA credito 2, dove il punteggio massimo si ottiene con una produzione di energia da fonti rinnovabili pari al 17% mentre noi raggiungiamo il 34%.

RISULTATO: **1 PUNTO**

IP Credito 2: Professionista Accreditato LEEDFinalità:

Supportare e promuovere l'integrazione progettuale richiesta da LEED per favorirne l'applicazione e la certificazione.

Requisiti

Almeno uno dei principali componenti del gruppo di progettazione deve essere un Professionista Accreditato LEED AP.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

Nessun componente del team di progettazione risponde ai requisiti richiesti

RISULTATO: 0 PUNTI

RISULTATO SEZIONE 6

1/6

7.4.7. SEZIONE 7: PRIORITA' REGIONALE**PR Credito 1: Priorita' regionale**Finalità:

Incentivare il conseguimento dei crediti orientati alle specifiche priorità ambientali locali.

Requisiti

Raggiungere da 1 a 4 dei 6 crediti della sezione PR (Priorità Regionale) identificati da GBC Italia (in collaborazione con i Chapter locali) in base all'importanza ambientale per la zona in cui è collocato il progetto. Per ciascun credito della sezione PR (Priorità Regionale) può essere ottenuto un solo punto, ma in ogni caso non possono essere conseguiti più di 4 punti per questa categoria.

Strategia adottata e risultati ottenuti:

I crediti che concorrono al bonus regionale, indicati da GBC Italia sono:


GA c1: Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo, GA c2: Tecnologie innovative per le acque reflue, GA c3: Riduzione dell'uso dell'acqua, EA c1: Ottimizzazione delle prestazioni energetiche, EA c3: Commissioning avanzato dei sistemi energetici, EA c5: Misure e collaudi. Avendo rispettato cinque dei sei parametri indicati possiamo attribuire quattro punti a questa sezione.

RISULTATO: 4 PUNTI

RISULTATO SEZIONE 7

4/4

7.4.8. TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

	LEED Italia - Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni	
	Lista di controllo dei crediti	
	Progetto: Greda S.r.l	
	Data:	

16	0	0	Sostenibilità del Sito	Punti:	16 / 26
----	---	---	-------------------------------	--------	---------

Y	N	?			
Y			Prereq 1	Prevenzione dell'Inquinamento da Attività di Cantiere	
1			Credito 1	Selezione del Sito	1
	0		Credito 2	Densità Edilizia e Vicinanza ai Servizi	5
	0		Credito 3	Recupero e Riquilificazione dei Siti Contaminati	1
6			Credito 4.1	Trasporti Alternativi: Accesso ai Trasporti Pubblici	6
1			Credito 4.2	Trasporti Alternativi: Portabiciclette e Spogliatoi	1
3			Credito 4.3	Trasporti Alternativi: Veicoli a Bassa Emissione e a Carburante Alternativo	3
	0		Credito 4.4	Trasporti Alternativi: Capacità dell'Area di Parcheggio	2
1			Credito 5.1	Sviluppo del Sito: Proteggere e Ripristinare l'Habitat	1
1			Credito 5.2	Sviluppo del Sito: Massimizzazione degli Spazi Aperti	1
1			Credito 6.1	Acque Meteoriche: Controllo della Quantità	1
	0		Credito 6.2	Acque Meteoriche: Controllo della Qualità	1
1			Credito 7.1	Effetto Isola di Calore: Superfici Esterne	1
1			Credito 7.2	Effetto Isola di Calore: Coperture	1
	0		Credito 8	Riduzione dell'Inquinamento Luminoso	1

8	0	0	Gestione delle Acque	Punti:	8 / 10
---	---	---	-----------------------------	--------	--------

Y	N	?			
Y			Prereq 1	Riduzione dell'Uso dell'Acqua	
2			Credito 1	Gestione Efficiente delle Acque a Scopo Irriguo	2 to 4
				<input checked="" type="checkbox"/> Riduzione dei Consumi del 50%	2
				<input type="checkbox"/> Nessun Uso di Acqua Potabile per l'Irrigazione	4
2			Credito 2	Tecnologie Innovative per le Acque Reflue	2
4			Credito 3	Riduzione dell'Uso dell'Acqua	2 to 4
				<input type="checkbox"/> Riduzione del 30%	2
				<input type="checkbox"/> Riduzione del 35%	3
				<input checked="" type="checkbox"/> Riduzione del 40%	4

33	0	0	Energia e Atmosfera	Punti:	33 / 35
----	---	---	----------------------------	--------	---------

Y	N	?			
Y			Prereq 1	Commissioning di Base dei Sistemi Energetici dell'Edificio	
Y			Prereq 2	Prestazioni Energetiche Minime	
Y			Prereq 3	Gestione di Base dei Fluidi Refrigeranti	
19			Credito 1	Ottimizzazione delle Prestazioni Energetiche	1 to 19
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 12% per Nuove Costruzioni e di 8% per Ristrutturazioni	1
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 14% per Nuove Costruzioni e di 10% per Ristrutturazioni	2
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 16% per Nuove Costruzioni e di 12% per Ristrutturazioni	3
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 18% per Nuove Costruzioni e di 14% per Ristrutturazioni	4
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 20% per Nuove Costruzioni e di 16% per Ristrutturazioni	5
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 22% per Nuove Costruzioni e di 18% per Ristrutturazioni	6
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 24% per Nuove Costruzioni e di 20% per Ristrutturazioni	7
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 26% per Nuove Costruzioni e di 22% per Ristrutturazioni	8
				<input type="checkbox"/> Riduzione del fabbisogno di 28% per Nuove Costruzioni e di 24% per Ristrutturazioni	9

			Riduzione del fabbisogno di 30% per Nuove Costruzioni e di 26% per Ristrutturazioni	10
			Riduzione del fabbisogno di 32% per Nuove Costruzioni e di 28% per Ristrutturazioni	11
			Riduzione del fabbisogno di 34% per Nuove Costruzioni e di 30% per Ristrutturazioni	12
			Riduzione del fabbisogno di 36% per Nuove Costruzioni e di 32% per Ristrutturazioni	13
			Riduzione del fabbisogno di 38% per Nuove Costruzioni e di 34% per Ristrutturazioni	14
			Riduzione del fabbisogno di 40% per Nuove Costruzioni e di 36% per Ristrutturazioni	15
			Riduzione del fabbisogno di 42% per Nuove Costruzioni e di 38% per Ristrutturazioni	16
			Riduzione del fabbisogno di 44% per Nuove Costruzioni e di 40% per Ristrutturazioni	17
			Riduzione del fabbisogno di 46% per Nuove Costruzioni e di 42% per Ristrutturazioni	18
		X	Riduzione del fabbisogno di 48% per Nuove Costruzioni e di 44% per Ristrutturazioni	19
7			Credito 2 Produzione in sito di Energie Rinnovabili	1 to 7
			2.5% di Energie Rinnovabili	1
			5% di Energie Rinnovabili	2
			7.5% di Energie Rinnovabili	3
			10% di Energie Rinnovabili	4
			12.5% di Energie Rinnovabili	5
			15% di Energie Rinnovabili	6
		X	17.5% di Energie Rinnovabili	7
2			Credito 3 Commissioning Avanzato dei Sistemi Energetici	2
	0		Credito 4 Gestione Avanzata dei Fluidi Refrigeranti	2
3			Credito 5 Misure e Collaudi	3
2			Credito 6 Energia Verde	2

4	0	0	Materiali e Risorse	Punti: 4 / 14
---	---	---	----------------------------	---------------

Y			Prereq 1 Raccolta e Stoccaggio dei Materiali Riciclabili	
	0		Credito 1.1 Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento di Murature, Solai e Coperture Esistenti	1 to 3
			Riutilizzo del 55%	1
			Riutilizzo del 75%	2
			Riutilizzo del 95%	3
	0		Credito 1.2 Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento del 50% degli Elementi Non Strutturali Interni	1
	0		Credito 2 Gestione dei Rifiuti da Costruzione	1 to 2
			50% di Contenuto Riciclato o Recuperato	1
			75% di Contenuto Riciclato o Recuperato	2
	0		Credito 3 Riutilizzo dei Materiali	1 to 2
			Riutilizzo del 5%	1
			Riutilizzo del 10%	2
	0		Credito 4 Contenuto di Riciclato	1 to 2
			10% di Contenuto	1
			20% di Contenuto	2
2			Credito 5 Materiali Estratti, Lavorati e Prodotti a Distanza Limitata (Materiali Regionali)	1 to 2
			10% dei Materiali	1
		X	20% dei Materiali	2
1			Credito 6 Materiali Rapidamente Rinnovabili	1
1			Credito 7 Legno Certificato	1

13	0	0	Qualità Ambientale Interna	Punti: 13 / 15
----	---	---	-----------------------------------	----------------

Y			Prereq 1 Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria	
Y			Prereq 2 Controllo Ambientale del Fumo di Tabacco	
1			Credito 1 Monitoraggio della Portata dell'Aria di Rinnovo	1
1			Credito 2 Incremento della Ventilazione	1

	0		Credito 3.1	Piano di Gestione IAQ: Fase Costruttiva	1
1			Credito 3.2	Piano di Gestione IAQ: Prima dell'Occupazione	1
1			Credito 4.1	Materiali Basso Emissivi: Adesivi, Primers, Sigillanti, Materiali Cementizi e Finiture per Legno	1
1			Credito 4.2	Materiali Basso Emissivi: Pitture	1
1			Credito 4.3	Materiali Basso Emissivi: Pavimentazioni	1
1			Credito 4.4	Materiali Basso Emissivi: Prodotti in Legno Composito e Fibre Vegetali	1
	0		Credito 5	Controllo delle Fonti Chimiche ed Inquinanti Indoor	1
1			Credito 6.1	Controllo e Gestione degli Impianti: Illuminazione	1
1			Credito 6.2	Controllo e Gestione degli Impianti: Comfort Termico	1
1			Credito 7.1	Comfort Termico: Progettazione	1
1			Credito 7.2	Comfort Termico: Verifica	1
1			Credito 8.1	Luce Naturale e Visione: Luce Naturale per il 75% degli Spazi	1
1			Credito 8.2	Luce Naturale e Visione: Visuale Esterna per il 90% degli Spazi	1

1	0	0	Innovazione nella Progettazione	Punti:	1 / 6
---	---	---	--	--------	--------------

1			Credito 1.1	Innovazione nella Progettazione: EA credito 2 superato del doppio	1
	0		Credito 1.2	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	0		Credito 1.3	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	0		Credito 1.4	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	0		Credito 1.5	Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico	1
	0		Credito 2	Professionista Accreditato LEED (LEED AP)	1

4	0	0	Priorità Regionale	Punti:	4 / 4
---	---	---	---------------------------	--------	--------------

1			Credito 1.1	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
1			Credito 1.2	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
1			Credito 1.3	Priorità Regionale: Credito Specifico	1
1			Credito 1.4	Priorità Regionale: Credito Specifico	1

79	0	0	TOTALE	PUNTEGGIO	79 / 110
----	---	---	---------------	-----------	-----------------

Certificato: 40-49 Punti; Argento: 50-59 Punti; Oro: 60-79 Punti; Platino: 80-110 Punti

Secondo il sistema di valutazione previsto da LEED Italia per edifici di nuova costruzione, la sede della Greda s.r.l. ha ottenuto un punteggio tale da poter ricevere la certificazione **LEED GOLD**.



BIBLIOGRAFIA

Parte prima:

- Testi:

D. BIGARELLI, M. BARACCHI, S. CORRADI: *Osservatorio del settore tessile abbigliamento nel distretto di Carpi* - Camera di commercio di Modena, 2009

D. BIGARELLI, G. SOLINAS: *Struttura produttiva e internazionalizzazione dei mercati. Il caso di Carpi* - Comune di Carpi, 2008

Piano Regolatore Generale del Comune di Carpi

Regolamento edilizio del Comune di Carpi

Regolamento d'igiene del Comune di Carpi

- Fonti internet:

<http://www.carpidiem.it>

<http://www.fondazioneccrcarpi.it>

<http://www.osservatoriodistretti.org>

Parte seconda:

- Testi:

G. MASERA: *Residenze e risparmio energetico – Tecnologie applicative e linee guida progettuali per la costruzione di abitazioni sostenibili*, Il Sole 24 Ore, Milano 2004.

D. PALAZZO: *Urban Design. Un processo per la progettazione urbana*, Mondadori Università, 2008

E. FORMENTI: *Solidità e trasparenza*, (Archetipo 17/2007), Il Sole 24 Ore, Milano 2007

G. F. IULIANO: *L'illuminazione naturale per il risparmio energetico ed il comfort visivo*, Università degli studi di Napoli, 2009

A. VIVONA, F. PERON: *Illuminazione naturale e fattore di luce diurna*, Materiale didattico per il corso di *Tecnica del Controllo Ambientale*, Venezia 2010

L. CORBO, *Manuale di prevenzione incendi nell'edilizia e nell'industria*, Il Sole 24Ore, 2004

S. SECCHI: *La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati*, Firenze 2008

L. MATTEVI: *Requisiti acustici degli edifici, metodi di miglioramento delle prestazioni acustiche degli edifici*

Dispense del Prof. F. Dallari sulla logistica industriale, Libera Università Carlo Cattaneo, Castellanza 2010

UNI EN 12464-1 – Illuminazione sui luoghi di lavoro

D.P.R. 59/09, Requisiti energetici, 2009

D.M. 9/3/2007, Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei Vigili del Fuoco

• Fonti internet:

<http://www.architetturaesostenibilita.it>

<http://www.lablog.it>

<http://www.enea.it>

<http://www.mygreenbuildings.org>

<http://www.alcolore.it>

<http://www.celenit.it>

<http://www.idealpark.it>

<http://www.om-pimespo.es>

<http://www.azahner.com>

<http://www.pilkington.com>

<http://www.isolkenaf.com>

<http://www.bio-ecological.com>

<http://www.esetp.it>

<http://www.archdaily.com>

Parte terza:

- Testi:

S. CASTELLO, F. DE LIA: *Il fotovoltaico*, ENEA 2008

M.G. CONTARINI: *Esempi pratici per il recupero ed il ricircolo delle acque*, Corso Probios, Carrara 2008

- Fonti internet:

<http://www.gse.it>

<http://www.solarday.it>

<http://www.sunheat.it>

<http://www.etstudio.it>

<http://www.architetturaecosostenibile.it>

Parte quarta:

- Testi:

S. V. SZOKOLAY: *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Hoepli, Milano 2006

G.V. FRACASTORO: *Dispense del corso di Fisica tecnica ambientale - parte IV: illuminotecnica*, Politecnico di Torino 2003

A. CARBONARI: *Lezioni del corso di tecnica del controllo ambientale*, Università IUAV, Venezia 2009

G.CELLAI, G. BAZZINI, M. GAI: *Le prestazioni energetiche degli edifici*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2007

W. BOBENHAUSEN: *Simplified design of HVAC systems*, John Wiley & Sons, 2000

J.D. SPITLER, F.C MCQUISTON, K. LINDSEY: *The CLTD/SCL/CLF Cooling Load Calculation Method*, ASHRAE transaction, 1993

UNI TS 11300 - *Normativa tecnica per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio (Parte 1-2-3)*

UNI EN 10349 – *Dati climatici e irradiazione solare*

UNI 10339 – *Impianti aeraulici*

- Fonti internet:

<http://www.carrier.it>

<http://www.ilmeteo.it>

<http://www.aermec.it>

Parte quinta:

- Testi:

G. TONIOLO: *Appunti di Tecnica delle costruzioni. Elementi strutturali in acciaio*, Masson Editore, Milano 1996

C. BERNUZZI: *Progetto e verifica delle strutture in acciaio*, Hoepli, Milano 2011

M. PIAZZA, R. TOMASI, R. MODENA: *Strutture in legno : materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Milano, Hoepli, 2005.

F. ANGOTTI, M. GUIGLIA, P.MARIO, M. ORLANDO: *Progetto delle strutture in calcestruzzo armato*, Hoepli, Milano 2011

G. TONIOLO, M. DI PRISCO: *Cemento armato, calcolo agli stati limite*, Zanichelli, Milano 2000

F. COMODINI, M. MEZZI: *Effetti del martellamento sulla risposta sismica di edifici adiacenti*, Università degli studi di Perugia, Perugia

Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) – D.M. 14 Gennaio 2008

EUROCODICE 5 – *Progettazione delle strutture in legno*, 2002

EUROCODICE 3 – *Progettazione delle strutture in acciaio*, 2002

- Fonti internet:

<http://www.promolegno.it>

<http://www.klh.it>

<http://www.simonecaffè.it>

<http://www.rothoblaas.it>

<http://www.sofem.it>

Parte sesta:

- Testi:

A. GOTTFRIED, G.M. DI GIUDA: *Ergotecnica edile*, Esculapio, Bologna 2011

Prezzi informativi delle opere edili in Modena, Camera di Commercio di Modena, 2011

Prezzi informativi delle opere edili in Bologna, Camera di Commercio di Bologna, Bologna 2011

Listino prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche, Camera di Commercio di Milano, Milano 2011

Prezzario delle opere pubbliche Regione Lombardia, 2011

Prezzario delle opere pubbliche di Bolzano, Camera di Commercio di Bolzano, Bolzano 2011

Prezzario regionale del Veneto - Costi parametrici per le opere edili, 2010,

Parte settima:

- Testi:

AA. VV. LEED ITALIA: *Manuale LEED Italia nuove costruzioni e ristrutturazioni*, GBC Italia, 2010

- Fonti internet:

<http://www.gbcitalia.org>

<http://www.centroleoni.it>

<http://www.greenerproduct.com>

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Vista in volo del lotto di progetto	2
Figura 2 - Palazzo Pio.....	4
Figura 3 - Duomo di Carpi	5
Figura 4 - Il portico lungo	5
Figura 5 - Teatro di Carpi.....	5
Figura 7 - Veduta panoramica di Piazza Martiri.....	6
Figura 6 - Campo di Fossoli, 1943	6
Figura 8 - Lavorazione del truciolo e della paglia	7
Figura 9 - Le prime fasi di lavorazione del truciolo	7
Figura 10 - Produzione Made in Italy	9
Figura 11 - Mappa dei distretti italiani.....	10
Figura 12 - Vista in volo	12
Figura 13 - Posizione rispetto il centro storico.....	12
Figura 14 - Azzonamento dell'area comunale	13
Figura 15 - Soglie storiche di espansione comunale	14
Figura 16 - Classificazione delle strade	15
Figura 17 - Trasporti pubblici e percorsi ciclabili.....	15
Figura 18 - Vincoli sul lotto	19
Figura 19 - Matrice delle compatibilità.....	20
Figura 20 - Analisi cluster metodo centroide.....	21
Figura 21 - Schema distributivo in pianta	22
Figura 22 - Raccolta immagini Rothoblaas	25
Figura 23 - Raccolta immagini MP09	26
Figura 24 - Raccolta immagini Zahner Factory	27
Figura 25 - Raccolta immagini appartamenti	28
Figura 26 - Raccolta immagini Marmelo Mill.....	29
Figura 28 - Disposizione del layout	31
Figura 27 - Tipologie di magazzini.....	31
Figura 29 - Schemi tipici di ingresso	32
Figura 30 - Modulo unitario.....	32
Figura 31 - Scheda tecnica della scaffalatura.....	33
Figura 32 - Scheda tecnica carrello elevatore.....	34
Figura 33 - Scheda tecnica carrello elevatore	35
Figura 34 - Masterplan	37
Figura 35- Confronto dei costi tra parcheggi automatici e normali.....	39
Figura 36 - Pianta del parcheggio meccanizzato.....	40
Figura 37 - Schemi e dimensioni tipiche di parcheggi meccanizzati	40
Figura 38 - Pianta piano terra	43
Figura 39 - Pianta piano primo	45
Figura 40 - Pianta architettonica appartamento.....	46

Figura 41 - Pianta piano secondo.....	48
Figura 43 - Sezioni BB CC DD.....	50
Figura 44 - Effetto movimento dato dai frangisole.....	51
Figura 45 – Prospetti Nord-Est e Sud-Ovest	52
Figura 46 - Prospetto Sud-Est.....	53
Figura 47 - Prospetto Nord-Est.....	54
Figura 48 - Rudolf Steiner.....	55
Figura 49 - Una tavola dei colori di Steiner	56
Figura 50 - Composizione di un vetro basso emissivo.....	61
Figura 51 - Schede tecniche dei vetri scelti	63
Figura 52 - Caratteristiche dei principali materiali per isolamento.....	65
Figura 53 - Pannello di cannucciato per isolamento	66
Figura 54 - Tabella trasmittanze DL 26/01/2010.....	76
Figura 55 - Profili delle pressioni per due stratigrafie differenti.....	77
Figura 56 - Fonti di rumore e diffusione	93
Figura 57 - Ripartizione dell'energia sonora incidente su una parete	94
Figura 58 - Categorie di edifici secondo DPCM 5/12/1997	96
Figura 59 - Parametri acustici secondo categoria di appartenenza	97
Figura 60 - Tabelle per la valutazione delle trasmissioni laterali	100
Figura 61 - Tabella per la valutazione di ΔI_s	101
Figura 62 - Valutazione del termine K	102
Figura 63 - Risultati per T60 sala eventi.....	103
Figura 64 – Grafico di T60 per la sala eventi.....	104
Figura 65 – Le tre componenti dell'illuminamento di una stanza.....	111
Figura 66 - Elenco dei requisiti illuminotecnici.....	115
Figura 67 - Scheda tecnica lampada 1	116
Figura 68 - Scheda tecnica lampada 2.....	117
Figura 69 - Disposizione lampade nel magazzino.....	118
Figura 70 - FLD per il secondo piano uffici.....	119
Figura 71 - Grafico dell'irraggiamento in funzione della lunghezza d'onda.....	129
Figura 72 - La cella fotovoltaica	130
Figura 73 - Confronto tra diversi tipi di celle fotovoltaiche.....	131
Figura 74 - Scheda tecnica pannello PX60-240	133
Figura 75 - Scheda tecnica vetro fotovoltaico	134
Figura 76 - Percentuali di energia rinnovabile richiesta sul totale	138
Figura 77 - Potenza elettrica richiesta per 100mq di piano terreno	139
Figura 78 - Costi e incentivi per i due impianti.....	140
Figura 79 - Consumo elettrico Collegio di Milano	141
Figura 80 - Conto energia al primo anno per gli impianti FTV	142
Figura 81 – Benefici e costi nel tempo	143
Figura 82 - Schema di impianto solare termico	145
Figura 83 - Producibilità annua di ACS	146

Figura 84 - Dimensioni e numero di tubi per il pannello solare scelto.....	147
Figura 85 - Consumo di acqua medio per abitante	148
Figura 86 - Schema per l'impianto di recupero delle acque piovane.....	151
Figura 87 - Angoli per il calcolo del fattore d'ombra	163
Figura 88 - Tabelle dei fattori di ombreggiatura	164
Figura 89 - Temperature minime e massime nel trimestre	170
Figura 90 - Determinazione della classe energetica	175
Figura 91 - Diagramma psicrometrico estivo con scambiatori di calore	187
Figura 92 - Diagramma psicrometrico estivo con scambiatore e miscelatore .	192
Figura 93 - Diagramma psicrometrico invernale con scambiatore di calore....	195
Figura 94 - Scheda tecnica UTA	200
Figura 95 - Scheda tecnica pompa di calore.....	201
Figura 96 - Canali di mandata e ripresa zona produzione	202
Figura 97 - Disposizione dei canali di mandata	203
Figura 98 - Velocità dell'aria	204
Figura 99 - Predimensionamento dei canali dell'aria	205
Figura 100 - Procedimento per il modello energetico applicato	210
Figura 101 - Costo per climatizzazione a seconda della vetratura.....	216
Figura 102 - Andamento dei costi negli anni, corpo direzione.....	217
Figura 103 - Andamento dei costi negli anni, corpo produzione	218
Figura 104- Andamento dei costi negli anni, totale per l'edificio	219
Figura 105 - Valutazione dei consumi per il nostro edificio.....	220
Figura 106 - Disposizione lampade e livelli di illuminamento nella zona eventi.	221
Figura 107 - Percentuale di non utilizzo di illuminazione artificiale	222
Figura 108 - Costo per illuminazione a seconda della vetratura, zona eventi ..	223
Figura 109 - Costo complessivo per illuminazione a seconda della vetratura ..	224
Figura 110 - Curva dei costi al variare della percentuale vetrata	225
Figura 111 - Scomposizione dei costi globali.....	226
Figura 112 - Zone strutturali.....	229
Figura 113 - Tabelle predimensionamento Xlam	238
Figura 114 - Pannello lignum.....	239
Figura 115 - Tabelle predimensionamento lignum.....	240
Figura 116 - Schemi statici travi primo piano	264
Figura 117 - Schema statico mensola	269
Figura 118 - Schemi statici travi magazzino.....	269
Figura 119 - Schema della bullonatura.....	271
Figura 120 - Forze agenti sulla bullonatura	272
Figura 121 - Aggancio trave pilastro	273
Figura 122 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne	290
Figura 123 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne	292
Figura 124 - Schema statico e diagrammi delle azioni interne	296
Figura 125 - WBS.....	359

Figura 126 - Riassunto del computo metrico.....	360
Figura 127 - Lavorazioni in ordine di percentuale d'incidenza	361
Figura 128 - Costi al metro quadro e al metro cubo	362
Figura 129 - Costo di un edificio direzionale di riferimento	362
Figura 130 - Dati tecnici Rothoblaas.....	363

INDICE DELLE TAVOLE

Tavola 1 – Inquadramento a livello nazionale
Tavola 2 – Inquadramento a livello regionale
Tavola 3 – Evoluzione storica comunale – 1:10000
Tavola 4 – Azionamento comunale – 1:10000
Tavola 5 – Viabilità comunale – 1:10000
Tavola 6 – Trasporti pubblici e percorsi ciclabili – 1:10000
Tavola 7 – Analisi FDOM
Tavola 8 – Vincoli sul lotto
Tavola 9 – Analisi della compatibilità funzionale
Tavola 10 – Masterplan – Fuori scala
Tavola 11 – Pianta piano terra – 1:200
Tavola 12 – Pianta piano primo – 1:200
Tavola 13 – Pianta piano secondo – 1:200
Tavola 14 – Pianta copertura – 1:200
Tavola 15 – Sezioni AA BB CC DD – 1:200
Tavola 16 – Prospetti sud-ovest e nord-est – 1:200
Tavola 17 – Prospetti nord-ovest e sud-est – 1:200
Tavola 18 – Stratigrafie: Chiusure orizzontali – 1:10
Tavola 19 – Stratigrafie: Chiusure e partizioni orizzontali – 1:10
Tavola 20 – Stratigrafie: Chiusure e partizioni verticali – 1:10
Tavola 21 – Nodi 1-2-3 – 1:10

Tavola 22 – Nodi 5-6-7-8 – 1:10

Tavola 23 – Nodi 4-9-10 – 1:10

Tavola 24 – Nodi 11-12-13-14-15 – 1:10

Tavola 25 – Nodi 16-17-18 – 1:10

Tavola 26 – Nodi 19-20-21-22-23-24 – 1:10

Tavola 27 – Pianta piano terra antincendio – 1:200

Tavola 28 – Pianta piano primo antincendio – 1:200

Tavola 29 – Pianta piano secondo antincendio – 1:200

Tavola 30 – Schema ventilazione piano terra – 1:400

Tavola 31 – Schema ventilazione piano primo – 1:400

Tavola 32 – Schema ventilazione piano secondo – 1:400

Tavola 33 – Schema ventilazione magazzino – 1:400

Tavola 34 – Pianta strutturale primo impalcato – 1:200

Tavola 35 – Pianta strutturale secondo impalcato – 1:200

Tavola 36 – Pianta strutturale copertura – 1:200

Tavola 37 – 3D strutturale