

PARTE 4 - PROGETTO TECNOLOGICO

INDICE

INDICE.....	241
INTRODUZIONE.....	243
LA STRATIGRAFIA A SECCO.....	244
LA DOPPIA PELLE.....	247
I DIAFRAMMI.....	249
DETTAGLI TECNOLOGICI 3D.....	250
VERIFICHE PRESTAZIONALI.....	251
Solaio contro terra - CO1.....	253
Solaio su spazio aperto - CO2.....	254
Solaio su spazio aperto per terrazze - CO3.....	255
Tetto piano calpestabile - CO4.....	256
Tetto piano non calpestabile - CO5.....	257
Parete perimetrale - CV3.....	258
Parete perimetrale strutturale - CV4.....	259
Parete perimetrale strutturale con vano impianti - CV5.....	260
Parete contro terra sotto il livello +3.0 mslm - CV6.....	261
Parete contro terra sopra il livello +3.0 mslm - CV7.....	262
Solaio di interpiano con impianti - PO1.....	263
Solaio di interpiano con isolamento acustico - PO2.....	264
Solaio di interpiano in cls alveolare - PO3.....	265
Solaio di interpiano nei servizi - PO4.....	266
Passerella - PO5.....	267
Solaio terrazza - PO6.....	268
Vano scala in legno - PO7.....	269
Vano scala in castruzzo - PO8.....	270
Parete interna con isolamento acustico - PV3.....	271
Parete interna antincendio - PV4.....	272
Parete interna con vano per impianti - PV5.....	273
Parete interna con protezione contro l'umidità - PV6.....	274
Parete interna strutturale antincendio - PV7.....	275
Parete interna strutturale con vano impianti - PV8.....	276
BLOW UP E NODI.....	278
BLOW UP.....	280
NODO ORIZZONTALE 1.....	282
NODO VERTICALE 1.....	284
NODO VERTICALE 2.....	286
NODO VERTICALE 3.....	288
NODO VERTICALE 4.....	290
NODO VERTICALE 5.....	292
NODO VERTICALE 6.....	294
NODO VERTICALE 7.....	296

INTRODUZIONE

Per la biblioteca abbiamo fatto tre scelte importanti al livello tecnologico.

Abbiamo scelto di usare una stratigrafia a secco con struttura di legno che permette una costruzione rapida e leggera.

La seconda scelta è di avere una doppia pelle, anch'essa con una struttura a secco. La doppia pelle è stata scelta sia per motivi energetici sia per motivi estetici.

Finalmente per le pareti interrato abbiamo usato dei diaframmi perché siamo in presenza di un suolo bagnato con pressione idrostatica.

LA STRATIGRAFIA A SECCO

La stratigrafia a secco con struttura di legno è stata usata ai piani superiori tranne nei blocchi di servizi che sono in calcestruzzo armato.

L'idea di usare il legno è prima di tutto di usare un prodotto locale. Infatti la Finlandia è un grande produttore di legno di costruzione, notevolmente con la sua impresa internazionale Mestä Group.

Di più il legno è un materiale leggero rispetto al calcestruzzo e all'acciaio. Come abbiamo delle sovraccariche importanti dovuto agli scaffali della biblioteca, è utile diminuire il peso delle pareti e solai.

Altro vantaggio del legno rispetto all'acciaio è la sua energia grigia, al contrario è un svantaggio rispetto al calcestruzzo.

Facciamo la comparazione fra le tre stratigrafie per un solaio di 8×4 m:

- Per il legno abbiamo 7 travi di 7,5×70 cm di sezione e 8 m di lunghezza più una lastra di Kerto Q di 3,3 cm,
- Per l'acciaio abbiamo 4 IPE 400 più una lamiera grecata di 10 cm,
- Per il calcestruzzo ci sono una trave di 40×80 cm e una soletta di 20 cm di spessore.

	Volume [m³]	Energia grigia [MWh/m³]	Densità [-]	Energia grigia totale [MWh]	Massa [t]
Calcestruzzo	8.96	0.70	2.50	6.3	22.4
Acciaio	0.39	52.60	7.77	20.6	3.0
Legno lamellare	4.00	3.36	0.51	13.4	2.0

Prospetto 4.1 - Tabella comparativa delle energie grigie.

Si vede nella tabella che il legno lamellare a tutti i vantaggi su l'acciaio, sia quanto riguarda il peso (-50%), sia quanto riguarda l'energia grigia (-53%). Comparato al calcestruzzo, il legno lamellare ha un'energia grigia doppia, un peso circa 10 volte inferiore. L'uso del calcestruzzo per i solai necessita quindi di sovradimensionare i pilastri (già con un diametro di 1 m) e le travi (già di 1,30 m di altezza), il guadagno energetico nei solai è dunque perso dall'aggiunto di materiale nei pilastri.

Usiamo del legno tipo Kerto, un legno compensato impiallacciato. I pannelli e le travi sono costituiti di nastri impiallacciati dello spessore di 3,0 mm pressati a caldo. Il legno usato proviene da foreste certificate PEFC.

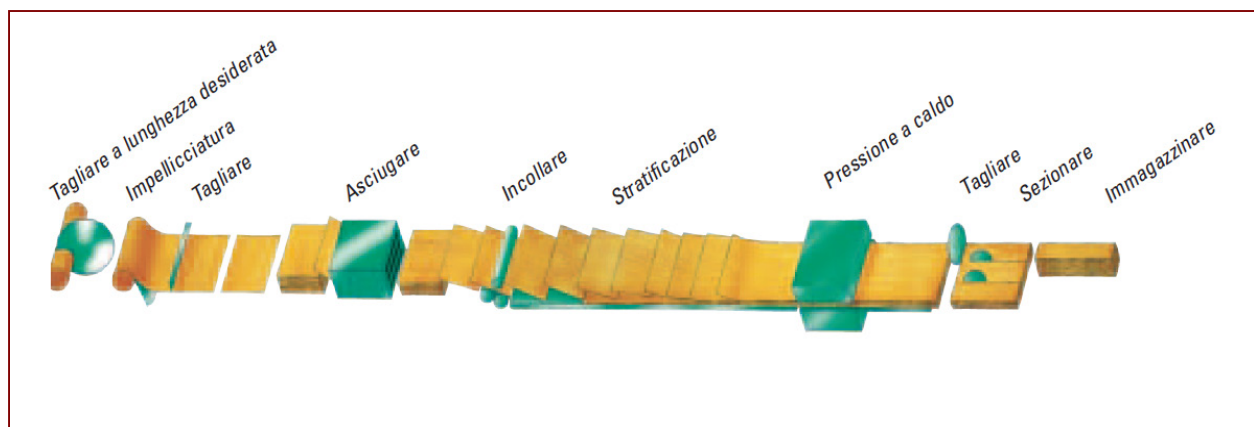


Figura 4.1 - Fabbricazione del Kerto.



Figura 4.2 - Presentazione dei differenti tipi di Kerto.

Il Kerto ha una grande stabilità dimensionale: l'indice di contrazione e rigonfiamento è dello 0,01% parallelamente in direzione della fibra, dello 0,32% perpendicolarmente in direzione della fibra e dello 0,24% perpendicolarmente alla superficie del pannello. In comparazione, per il legno massiccio, l'indice di contrazione e rigonfiamento è dello 0,5% longitudinalmente, del 4% radialmente e del 9,5% tangenzialmente agli anelli di accrescimento.

Un altro vantaggio del Kerto è la sua grande flessibilità di uso. È utilizzabile in pannelli o in trave, per i solai, per i muri, per i soffitti o per la struttura portante.



Figura 4.3 - Dettaglio della scala di una scuola in Svizzera.

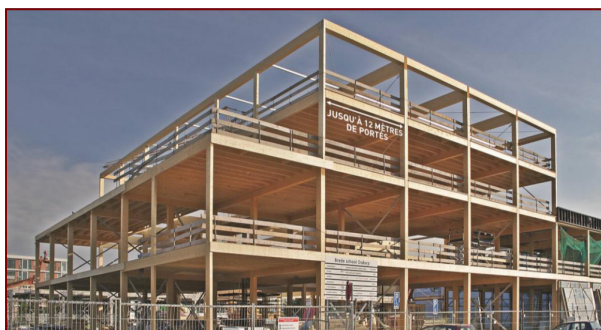


Figura 4.4 - Esempio di costruzione in Kerto.

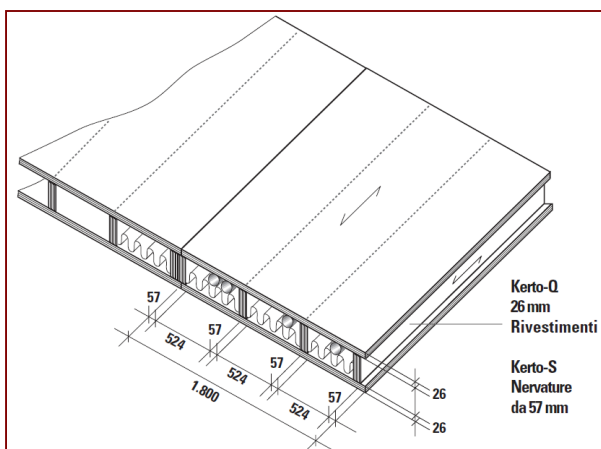


Figura 4.5 - Assonometria di un solaio Kerto.

Di più è facilmente tagliabile, lo che permette di far passare gli impianti facilmente.



Figura 4.6 - Solaio di Kerto Ripa con degli impianti.

LA DOPPIA PELLE

La doppia pelle fu scelta per motivi energetici ed estetici. Per quanto riguarda i motivi energetici ne parleremo nella parte 6.

Come per la stratigrafia a secco, la doppia pelle sarà fatta con legno, sia per i montanti sia per la struttura.

Usiamo il sistema Kerto concept per i montanti, come gli altri tipi di Kerto, e fatto con legno compensato impiallacciato. Il Kerto concept può essere usato con vetro, con pannelli di legno e per sostenere telai per creare delle aperture (quest'aspetto sarà più utile per le pareti interne e le parti trasparenti della prima pelle).



Figura 4.7 - St Mary Magdalene Academy, Londra, Inghilterra.

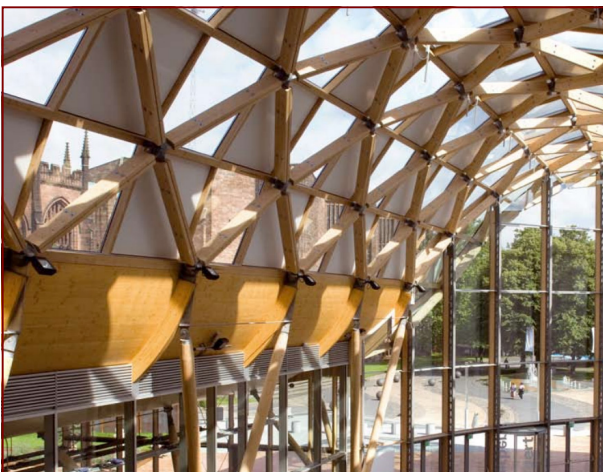


Figura 4.8 - Dettaglio del tetto della Herbert Gallery Coventry, Inghilterra.



Figura 4.9 - Componenti del sistema Kerto Concept.

Un vantaggio della seconda pelle è la sua flessibilità rispetto alla prima pelle. Le due rendono un effetto differente, la pelle interna essendo con una rete rettangolare e con parti opache, la pelle esterna essendo totalmente trasparente con una rete di losanghe. La variazione fra le due pelle è anche visibile attraverso la forma, quella della pelle esterna è più scultorea e fa un guscio ricoprendo l'edificio. Quest'effetto è visibile sia dall'esterno sia dall'interno.

Nella notte si accendono le luci interne. La forma interna è allora più netta e la forma esterna sparisce quasi completamente.



Figura 4.10 - Uffici della Unilever, Amburgo, Germania.



Figura 4.11 - Elm Park - vista esterna, Dublino, Irlanda.

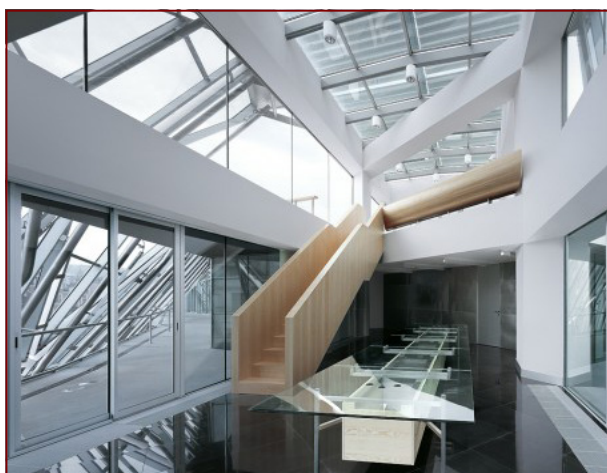


Figura 4.12 - Health department of Bilbao - vista interna, Bilbao, Spagna.



Figura 4.13 - Capella funerale, Gräfelfing, Germania.

La doppia pelle è sostenuta da una struttura di legno Glulam più adattato in questo caso del Kerto. Il Glulam può essere usato sia in interno, sia in esterno; quindi ideale per la nostra biblioteca che avrà sopra le terrazze del quarto piano un «tetto» costituito unicamente della struttura in legno a vista.

Per resistere alle intemperie il Glulam (come il Kerto) è completamente impregnato in un procedimento in autoclave. Questo procedimento lui conferisce una resistenza tale da potere essere utilizzato nelle classi di pericolosità 3 e 4 secondo la normativa DIN 68800, quindi senza protezione dalle intemperie, in zone umide o bagnate, non protetto dall'azione diretta dell'umidità per la classe 3 o con contatto permanente col terreno o fortemente bagnato per la classe 4.

I DIAFRAMMI

Il problema per le parte interrato della biblioteca è il suolo bagnato con pressione idrostatica. In effetto siamo vicino al mare è ci sono risalite d'acqua. Per risolvere questo problema abbiamo deciso di usare dei diaframmi.

Il principio dei diaframmi è di creare una barriera all'acqua prima di scavare all'interno. Per fare questo si scava la terra su due metri e la larghezza del diaframma, nello stesso momento s'inietta della bentonite per impedire il crollo della terra. Una volta il buco fatto si mette dentro le armature e poi s'inietta il calcestruzzo mentre si evacua la bentonite.

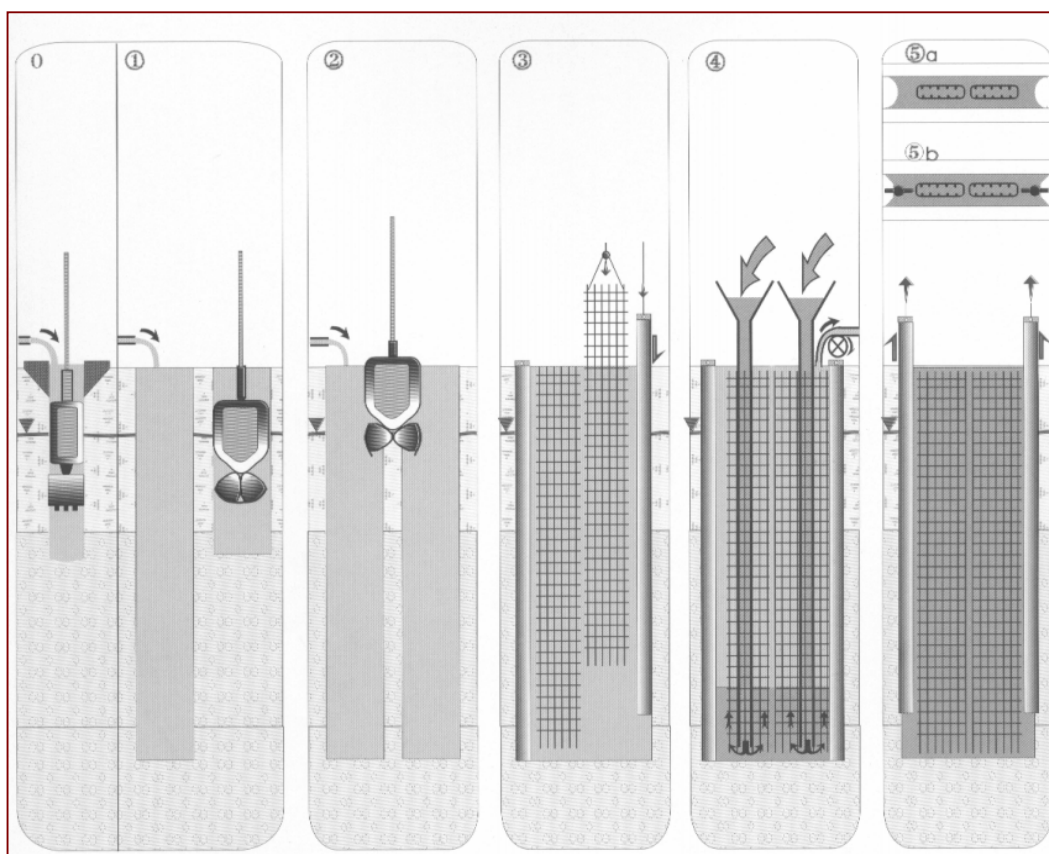


Figura 4.14 - Principio di realizzazione dei diaframmi.

I diaframmi servono a ritenere la pressione d'acqua e la spinta del terreno. Poi verso l'interno ci sono l'isolamento termico e l'impermeabilizzazione, poi uno strato di drenaggio di sicurezza e finalmente la parete interna portante.

I diaframmi saranno presenti unicamente dove c'è la pressione idrostatica, per esempio alla quota superiore a zero ci sarà solo la parete interna portante con l'isolamento termico



Figura 4.15 - Isolamento dei diaframmi di un ospedale, Ginevra, Svizzera

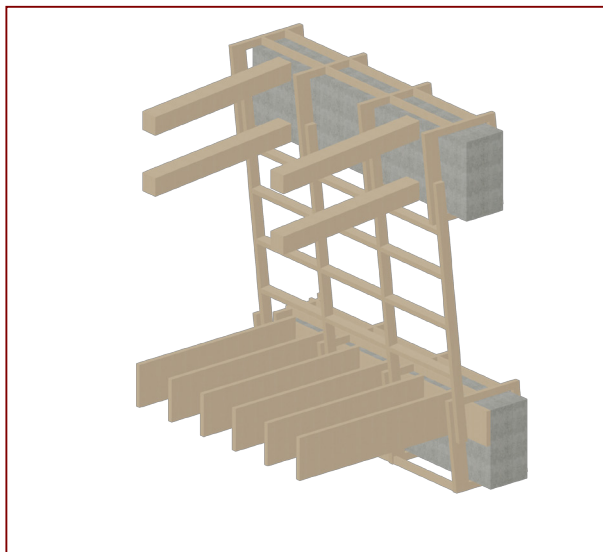


Figura 4.16 - Primo dettaglio 3D.

Il primo dettaglio rappresenta l'interfaccia fra la struttura in calcestruzzo e quelle in legno al livello della parete fra atrio e terrazza al quarto piano.

Sulle travi in calcestruzzo sono fissate due strutture in legno. La prima è costituita da quadri ogni metro cinquanta, con rinforzamenti nel senso della trave. Questa struttura serve d'una parte ad attaccare la parete di vetro e Kerto concept di traverso, e dell'altra ad attaccare il rivestimento intorno alla trave e il parapetto. La seconda struttura è quella del solaio in Kerto S per la trave inferiore o del tetto in Glulam per la trave superiore.

Il secondo dettaglio rappresenta il sistema di chiusure della doppia pelle con dei serramenti apribili. In grigio scuro ci sono i montanti attaccati alla struttura di legno verticale della doppia pelle su cui c'è il serramento apribile. In grigio chiaro ci sono profili in alluminio per fare la connessione fra i serramenti e le parte intorno. Finalmente in bianco ci sono pannelli di Kerto Q facilmente tagliabili che fanno la chiusura all'acqua nelle parte in losanghe della doppia pelle. Ci sono pannelli orizzontali nelle losanghe di struttura e pannelli verticali nelle losanghe di montanti di legno. Come la seconda pelle è costituita di vetro singolo, non c'è bisogno di un isolamento termico per le chiusure.

Si vede altrimenti lo stesso sistema che nel primo dettaglio all'intorno delle travi di calcestruzzo.

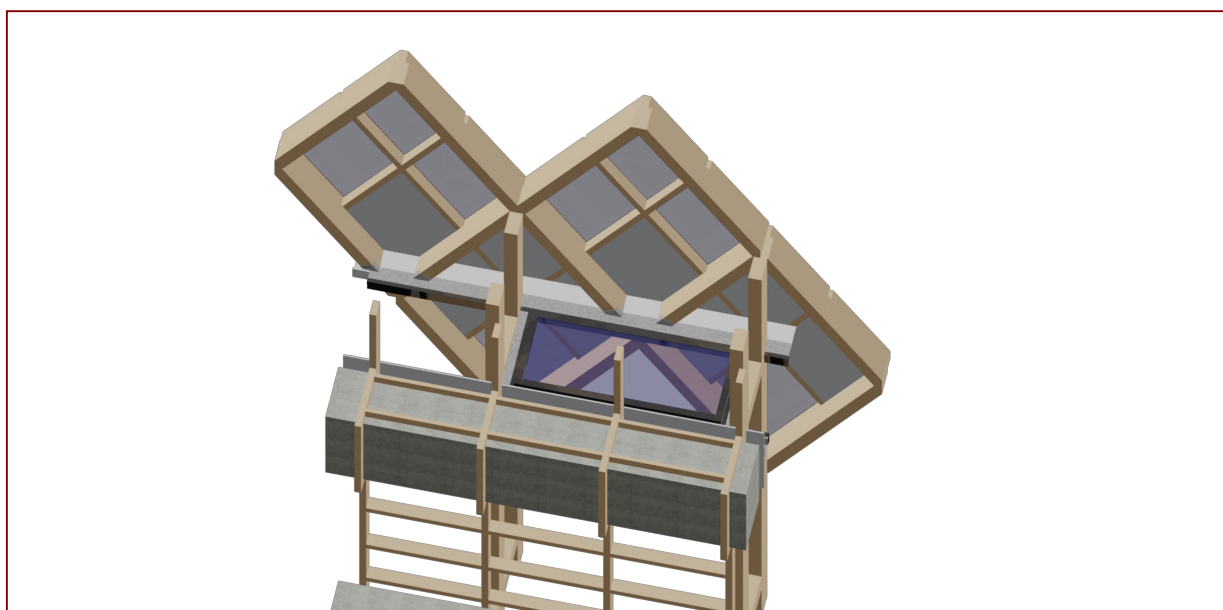
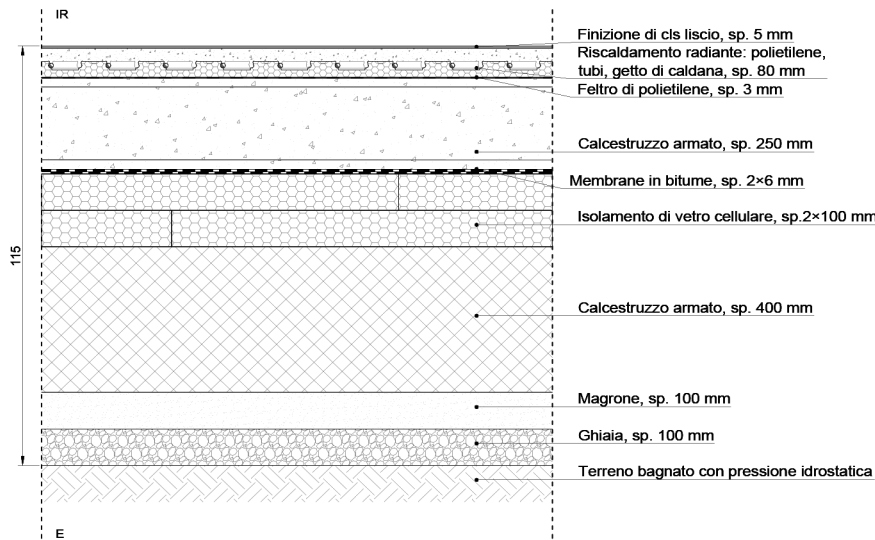


Figura 4.17 - Secondo dettaglio 3D.

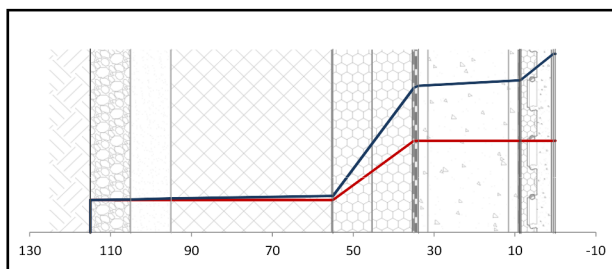
VERIFICHE PRESTAZIONALI

Elenco elementi	Descrizione elementi	Spessore [cm]	Trasmittanza [W/(m ² .K)]
P.O.	Partizioni orizzontali		
P.O.1	Solaio di interpiano in legno	105.0	0.464
P.O.2	Solaio di interpiano in legno con soffitto acustico	114.0	0.439
P.O.3	Solaio di interpiano in cls alveolare	72.7	0.492
P.O.4	Solaio di interpiano in cls nei blocchi servizi	61.6	0.506
P.O.5	Passerella	78.1	0.477
P.O.6	Solaio terrazze	28.0	1.242
P.O.7	Vano scala	131.1	1.122
P.O.8	Vano scala di sicurezza	31.6	2.782
C.O.	Chiusure orizzontali		
C.O.1	Solaio contro terra	115.0	0.162
C.O.2	Solaio su spazio aperto	85.1	0.131
C.O.3	Solaio su spazio aperto per terrazze	30.5	1.494
C.O.4	Tetto piano calpestabile	125.8	0.152
C.O.5	Tetto piano non calpestabile	127.1	0.155
C.O.6	Copertura di vetro	27.7	1.060
P.V.	Partizioni verticali		
P.V.1	Parete di vetro per atrii	23.8	1.900
P.V.2	Parete di vetro per aule	19.8	1.900
P.V.3	Parete interna con isolamento acustico	34.1	0.148
P.V.4	Parete interna antincendio	15.8	2.792
P.V.5	Parete interna con vano per impianti	28.0	0.281
P.V.6	Parete interna con protezione contro l'umidità	12.4	0.540
P.V.7	Parete interna strutturale antincendio	30.8	2.265
P.V.8	Parete interna strutturale con protezione contro l'umidità	47.9	0.454
C.V.	Chiusure verticali		
C.V.1	Parete perimetrale di vetro	24.9	0.590
C.V.2	Parete perimetrale di vetro su spazio non riscaldato	23.8	5.700
C.V.3	Parete perimetrale	34.2	0.136
C.V.4	Parete perimetrale strutturale	59.2	0.141
C.V.5	Parete perimetrale strutturale con vano per impianti	77.8	0.112
C.V.6	Parete contro terra con diaframmi	97.9	0.182
C.V.7	Parete contro terra	52.4	0.191

Solaio contro terra - CO1

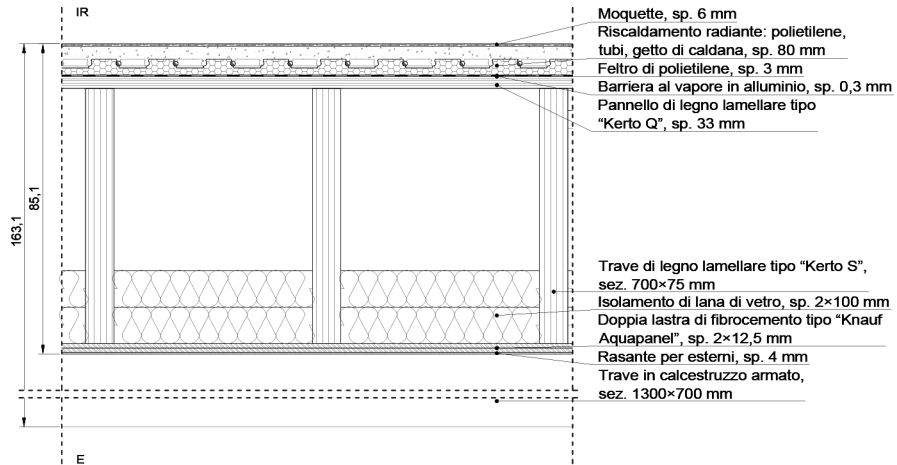


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.005	1.400	1000	2000	0.004	50
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Cis armato	0.250	1.800	1000	2500	0.139	130
Membrana bituminosa	0.012	0.230	1000	1100	0.052	10000
Isolante di vetro cellulare	0.200	0.041	1000	115	4.878	1000000
Cis armato	0.400	1.800	1000	2500	0.222	130
Magrone	0.100	0.900	1000	1200	0.111	87
Ghiaia	0.100	2.000	1000	1700	0.050	0

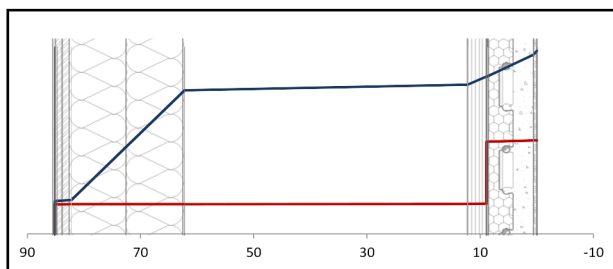


— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	6.180
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.162
Massa superficiale [kg/m²]	2088
Sfasamento [ore]	11.58
Fattore di decremento [-]	0.000



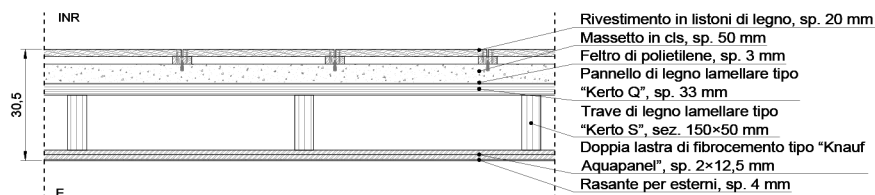
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Moquette	0.006	0.060	1300	200	0.100	5
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Barriera al vapore	0.000	0.330	2200	403	0.001	1000000
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.500				0.180	1
Isolante di lana di vetro	0.200	0.032	1030	27	6.250	1
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0.025	0.350	840	1150	0.071	42
Finitura esterna	0.004	0.900	1000	1800	0.004	11
Strato laminare esterno					0.040	



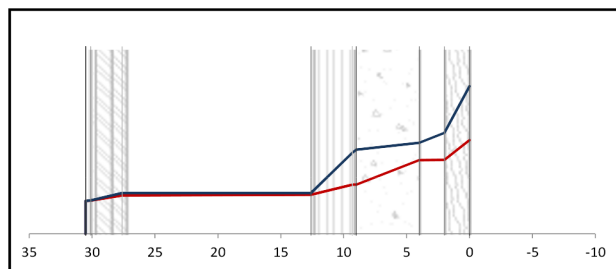
— Pressione saturazione
 — Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	7.625
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.131
Massa superficiale [kg/m²]	186
Sfasamento [ore]	12.69
Fattore di decremento [-]	0.127

Solaio su spazio aperto per terrazze - CO3

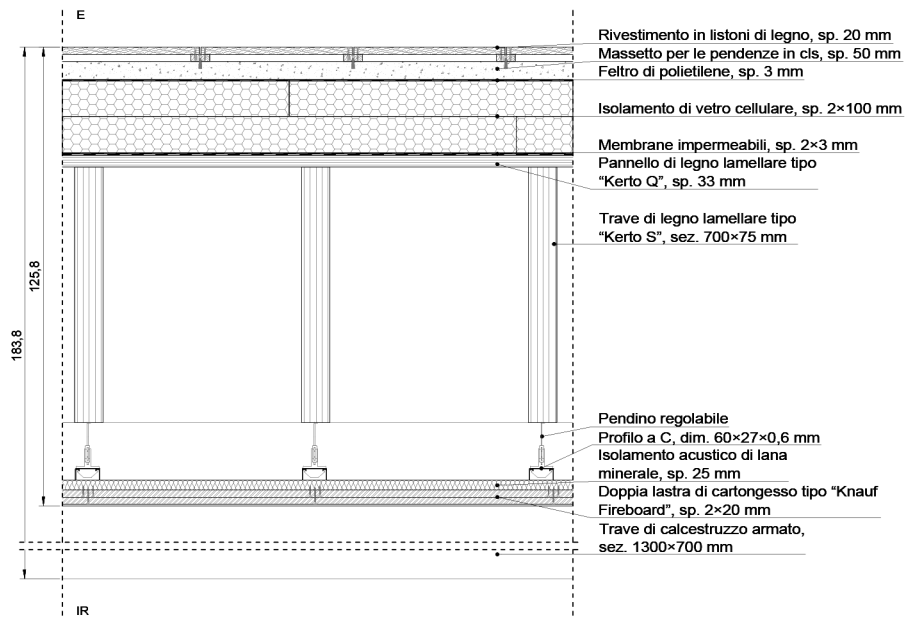


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0.020	0.130	2100	500	0.154	200
Camera d'aria	0.020				0.040	1
Cls ordinario poco armato	0.050	1.600	1000	2300	0.031	100
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.150				0.000	1
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0.025	0.350	840	1150	0.071	42
Finitura esterna	0.004	0.900	1000	1800	0.004	11

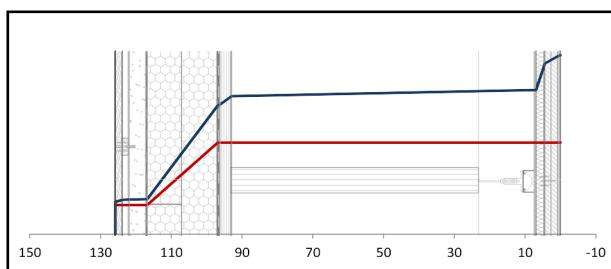


— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	0.669
Trasmittanza [W/(m²K)]	1.494
Massa superficiale [kg/m²]	178
Sfasamento [ore]	5.14
Fattore di decremento [-]	0.527



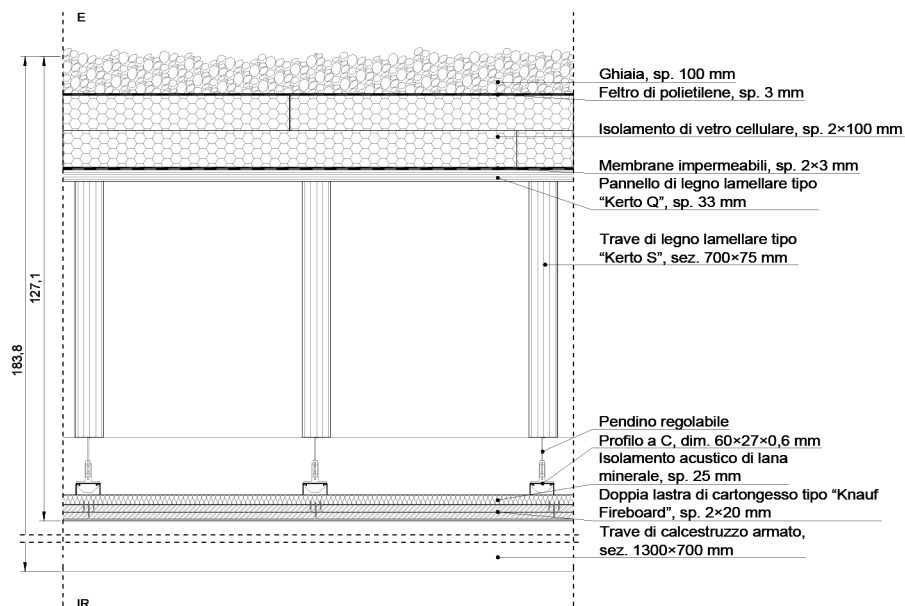
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0.040	0.210	837	1050	0.190	8
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Camera d'aria	0.860				0.180	1
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Membrana bituminosa	0.006	0.230	1000	1100	0.026	10000
Isolante di vetro cellulare	0.200	0.041	1000	115	4.878	1000000
Cls ordinario poco armato	0.050	1.600	1000	2300	0.031	100
Camera d'aria	0.020				0.040	1
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0.020	0.130	2100	500	0.154	200
Strato laminare esterno					0.040	



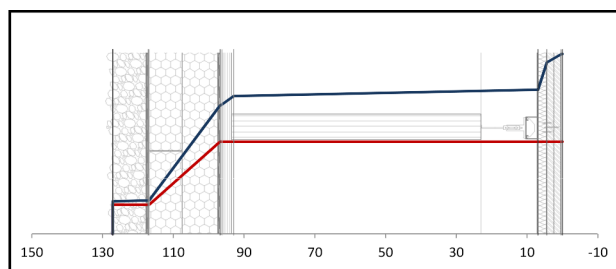
— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	6.595
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.152
Massa superficiale [kg/m²]	220
Sfasamento [ore]	16.27
Fattore di decremento [-]	0.088

Tetto piano non calpestabile - CO5

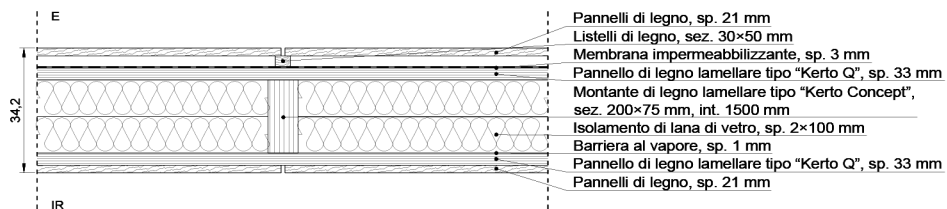
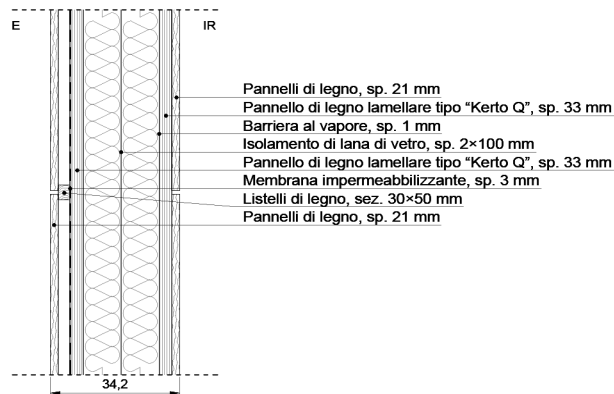


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conducibilità termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0.040	0.210	837	1050	0.190	8
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Camera d'aria	0.860				0.180	1
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Membrana bituminosa	0.006	0.230	1000	1100	0.026	10000
Isolante di vetro cellulare	0.200	0.041	1000	115	4.878	1000000
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Ghiaia	0.100	2.000	1000	1700	0.050	0
Strato laminare esterno					0.040	

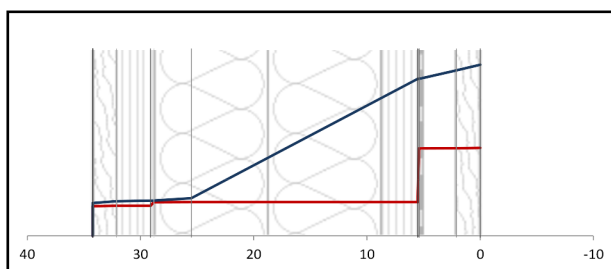


— Pressione saturazione
 — Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	6.434
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.155
Massa superficiale [kg/m²]	266
Sfasamento [ore]	14.33
Fattore di decremento [-]	0.168

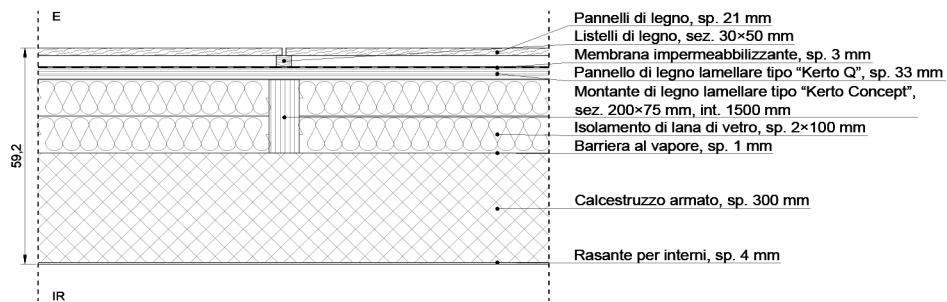
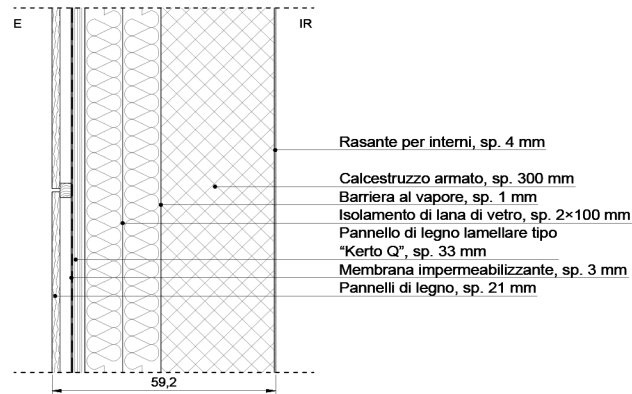


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Pannello di legno compensato di finitura interna	0.021	0.130	2100	500	0.162	200
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Barriera totale al vapore in alluminio	0.001	229.000	896	2700	0.000	500000
Isolante di lana di vetro	0.200	0.032	1030	27	6.250	1
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Guaina impermeabilizzante	0.003	0.200	1300	933	0.015	13000
Camera d'aria	0.030				0.070	1
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0.021	0.130	2100	500	0.162	200
Strato laminare esterno					0.040	

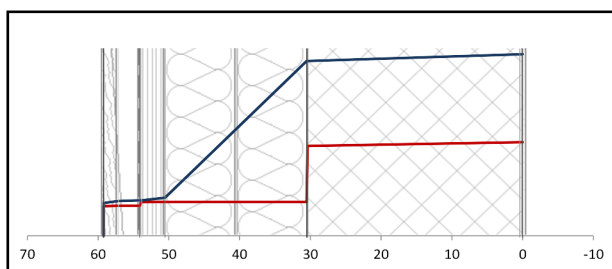


Resistenza termica [m²K/W]	7.336
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.136
Massa superficiale [kg/m²]	66
Sfasamento [ore]	9.05
Fattore di decremento [-]	0.488

Parete perimetrale strutturale - CV4



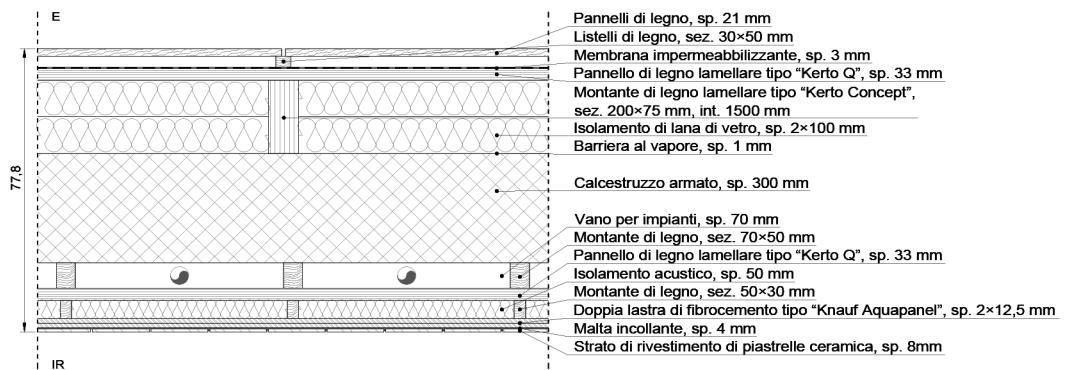
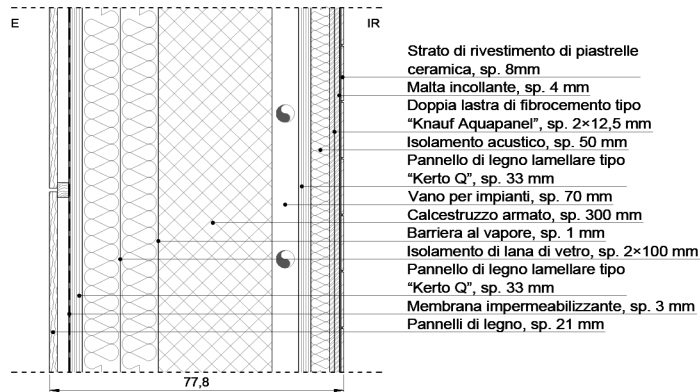
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Barriera totale al vapore in alluminio	0.001	229.000	896	2700	0.000	500000
Isolante di lana di vetro	0.200	0.032	1030	27	6.250	1
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Guaina impermeabilizzante	0.003	0.200	1300	933	0.015	13000
Camera d'aria	0.030				0.070	1
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0.021	0.130	2100	500	0.162	200
Strato laminare esterno					0.040	



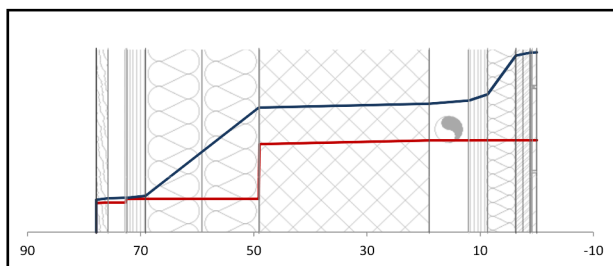
— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	7.094
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.141
Massa superficiale [kg/m²]	795
Sfasamento [ore]	15.50
Fattore di decremento [-]	0.053

Parete perimetrale strutturale con vano impianti - CV5



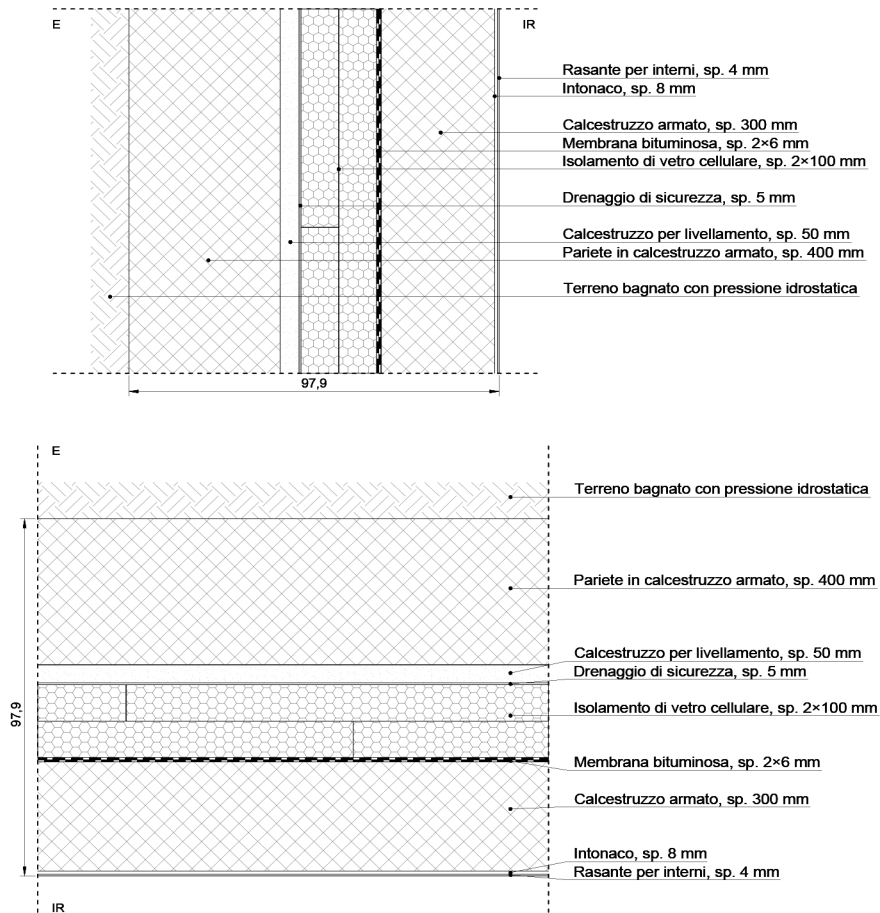
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.050	0.036	1480	35	1.389	2
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.070				0.130	1
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Barriera totale al vapore in alluminio	0.001	229.000	896	2700	0.000	500000
Isolante di lana di vetro	0.200	0.032	1030	27	6.250	1
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Guaina impermeabilizzante	0.003	0.200	1300	933	0.015	13000
Camera d'aria	0.030				0.070	1
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0.021	0.130	2100	500	0.162	200
Strato laminare esterno					0.040	



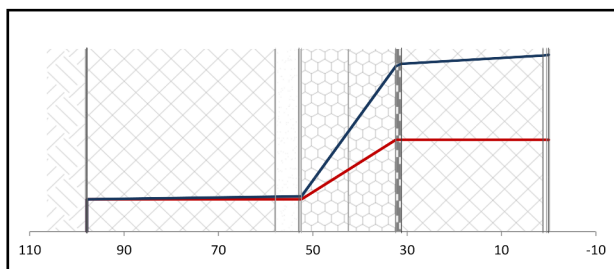
— Pressione saturazione
 — Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	8.961
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.112
Massa superficiale [kg/m²]	860
Sfasamento [ore]	20.09
Fattore di decremento [-]	0.005

Parete contro terra sotto il livello +3.0 mslm - CV6



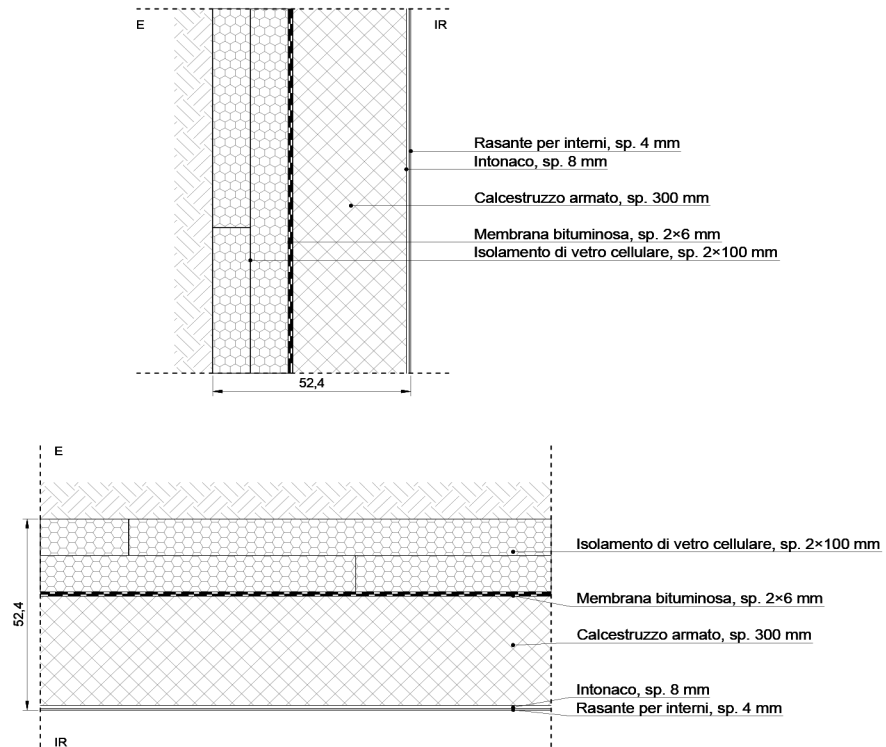
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Intonaco calce e gesso	0.008	0.900	1000	1800	0.009	11
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Membrana bituminosa	0.012	0.230	1000	1100	0.052	10000
Isolante di vetro cellulare	0.200	0.041	1000	115	4.878	1000000
Camera d'aria	0.005				0.000	1
Malta cementizia	0.050	1.400	1000	2000	0.036	50
Calcestruzzo armato idrofuogo	0.400	1.800	1000	2500	0.222	260



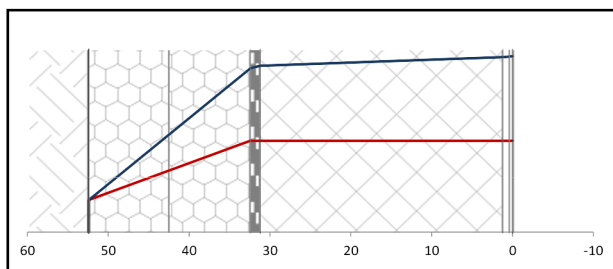
— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	5.501
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.182
Massa superficiale [kg/m²]	1907
Sfasamento [ore]	3.62
Fattore di decremento [-]	0.004

Parete contro terra sopra il livello +3.0 mslm - CV7



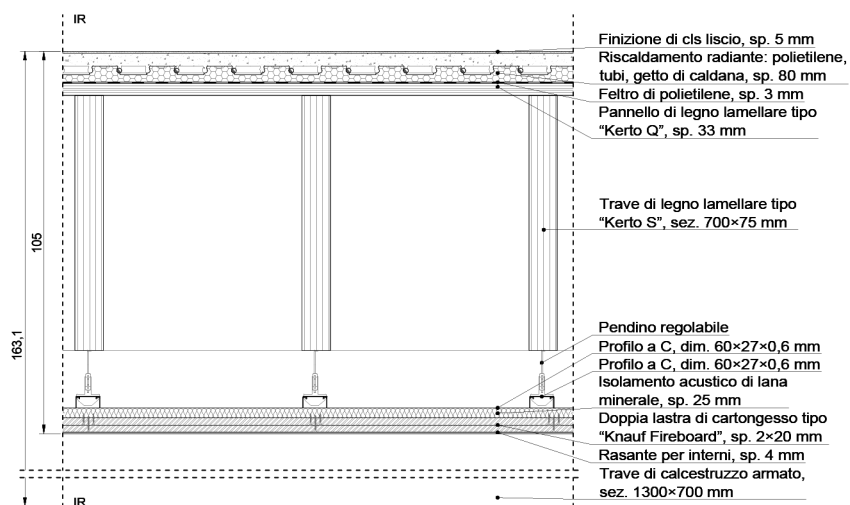
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Intonaco calce e gesso	0.008	0.900	1000	1800	0.009	11
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Membrana bituminosa	0.012	0.230	1000	1100	0.052	10000
Isolante di vetro cellulare	0.200	0.041	1000	115	4.878	1000000



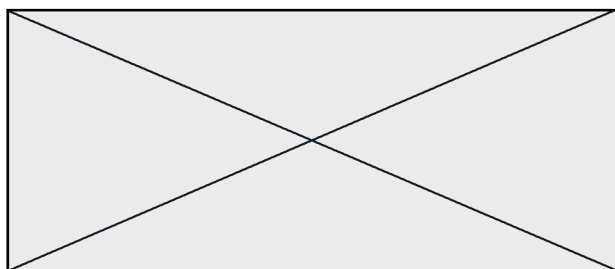
— Pressione saturazione
— Pressione vapore

Resistenza termica [m²K/W]	5.243
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.191
Massa superficiale [kg/m²]	807
Sfasamento [ore]	15.51
Fattore di decremento [-]	0.049

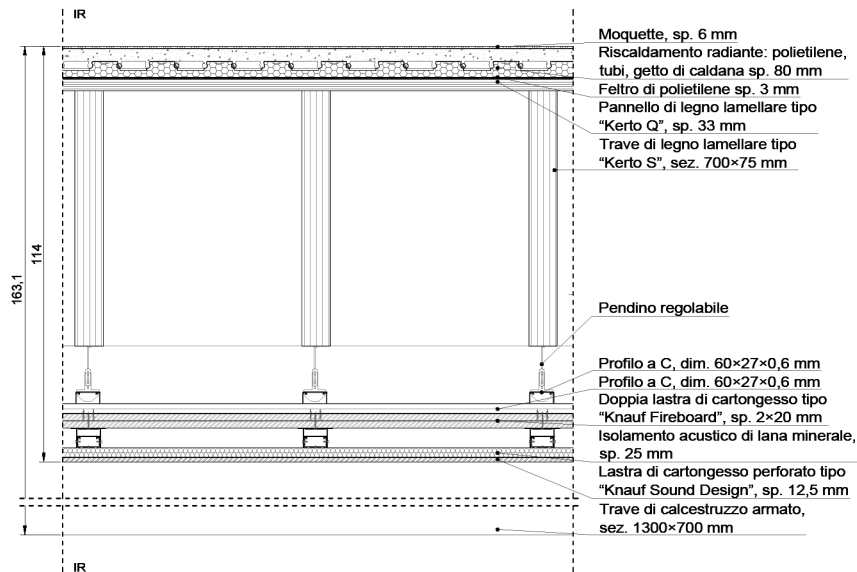
Solaio di interpiano con impianti - PO1



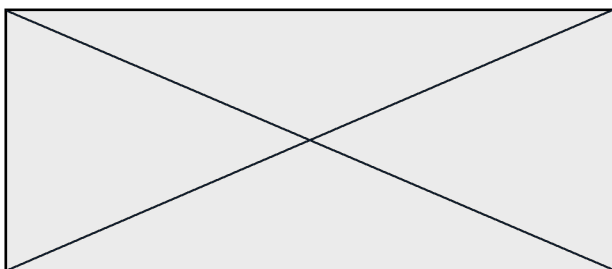
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.005	1.400	1000	2000	0.004	50
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.860				0.180	1
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0.040	0.210	837	1050	0.190	8
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	



Resistenza termica [m²K/W]	2.154
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.464
Massa superficiale [kg/m²]	203
Sfasamento [ore]	11.36
Fattore di decremento [-]	0.211

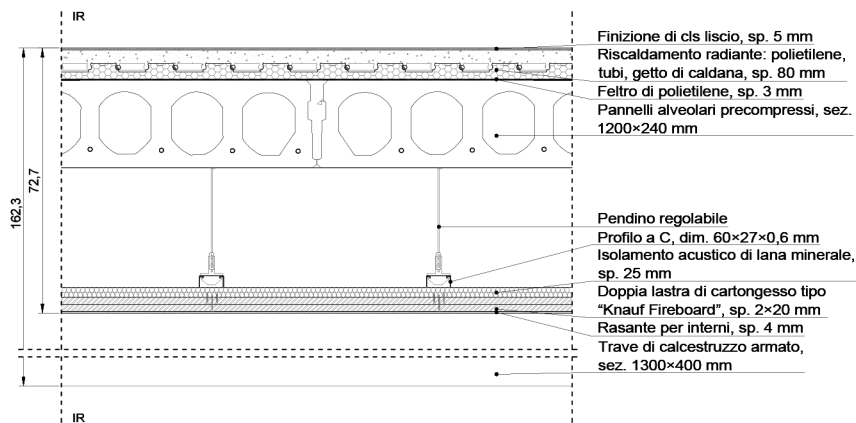


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.005	1.400	1000	2000	0.004	50
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.860				0.180	1
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0.040	0.210	837	1050	0.190	8
Camera d'aria	0.080				0.070	1
Lastra di gesso fonoassorbante	0.013	0.210	837	900	0.060	8
Strato laminare esterno					0.100	

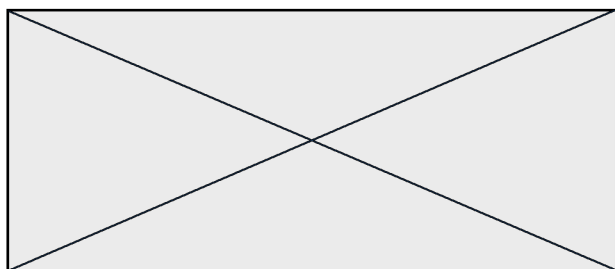


Resistenza termica [m²K/W]	2.276
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.439
Massa superficiale [kg/m²]	208
Sfasamento [ore]	12.18
Fattore di decremento [-]	0.186

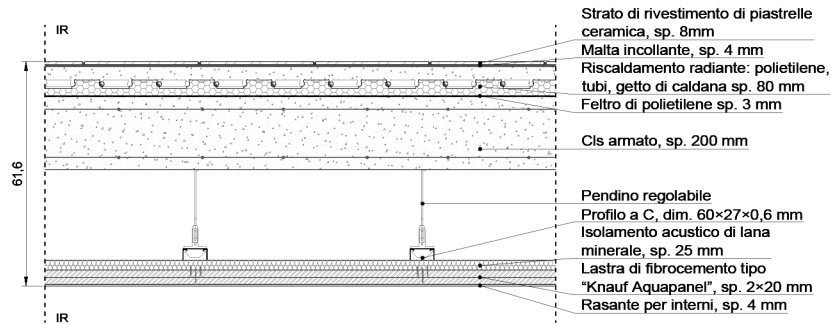
Solaio di interpiano in cls alveolare - PO3



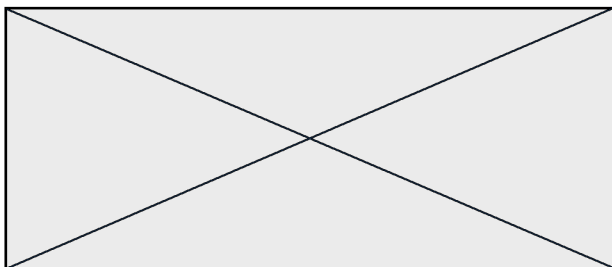
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.005	1.400	1000	2000	0.004	50
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Lastre ca precompresso	0.240	1.800	550	1375	0.133	0
Camera d'aria	0.330				0.180	1
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0.040	0.210	837	1050	0.190	8
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	



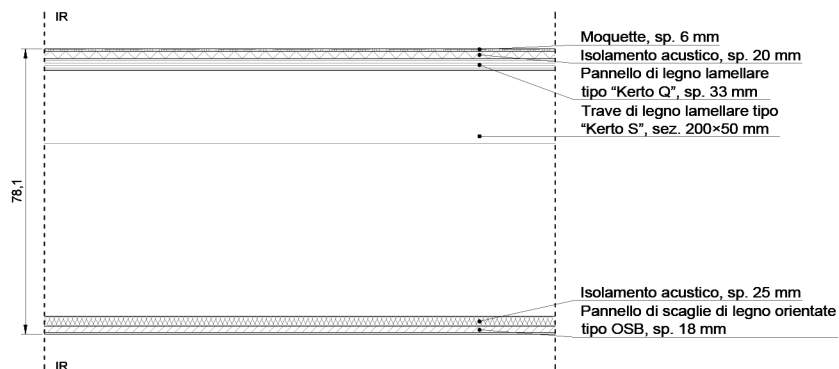
Resistenza termica [m²K/W]	2.034
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.492
Massa superficiale [kg/m²]	516
Sfasamento [ore]	13.75
Fattore di decremento [-]	0.077



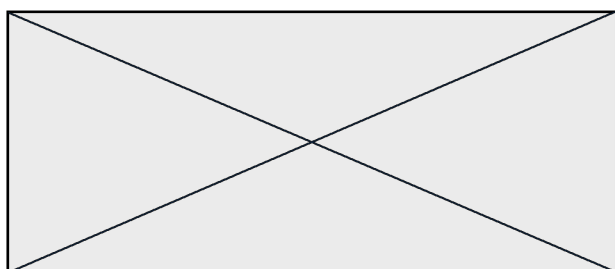
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Riscaldamento radiante	0.080	0.131	1250	1580	0.611	70
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Cls armato	0.200	1.800	1000	2500	0.111	130
Camera d'aria	0.250				0.180	1
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.040	0.270	1000	1050	0.148	30
Rasante resistente all'acqua	0.004	0.540	1000	1700	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	



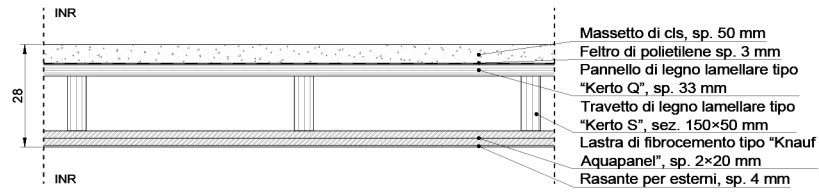
Resistenza termica [m²K/W]	1.974
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.506
Massa superficiale [kg/m²]	703
Sfasamento [ore]	15.96
Fattore di decremento [-]	0.029



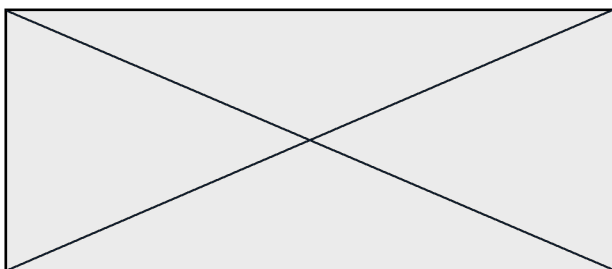
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Moquette	0.006	0.060	1300	200	0.100	5
Isolante termico rigido lordo di fibre di legno	0.020	0.039	2100	160	0.513	5
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.675				0.180	1
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.025	0.036	1480	35	0.694	2
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	



Resistenza termica [m²K/W]	2.099
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.477
Massa superficiale [kg/m²]	40
Sfasamento [ore]	4.77
Fattore di decremento [-]	0.676

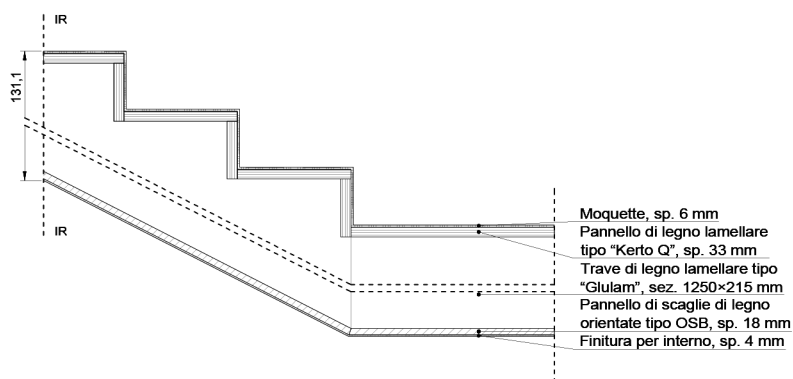


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.050	1.400	1000	2000	0.036	50
Feltro di polietilene	0.003	0.220	1800	180	0.014	0
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	0.150				0.180	1
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0.040	0.350	840	1150	0.114	42
Rasante per interno	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	

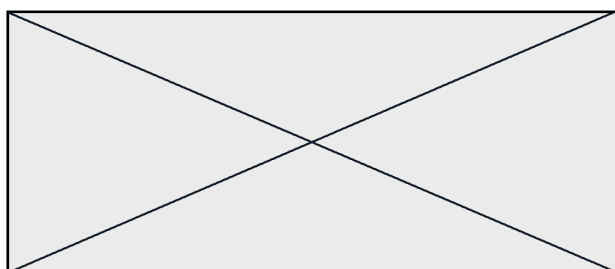


Resistenza termica [m²K/W]	0.805
Trasmittanza [W/(m²K)]	1.242
Massa superficiale [kg/m²]	169
Sfasamento [ore]	4.99
Fattore di decremento [-]	0.702

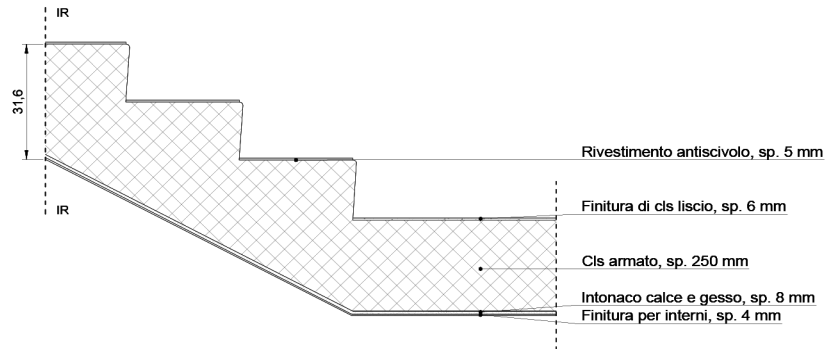
Vano scala in legno - PO7



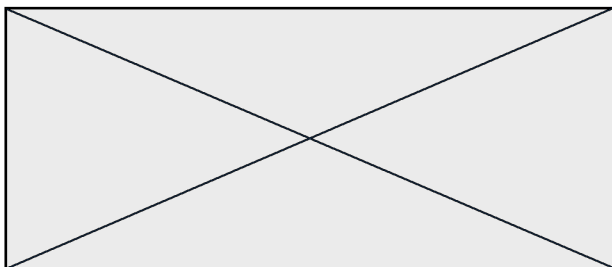
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Moquette	0.006	0.060	1300	200	0.100	5
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Camera d'aria	1.250				0.180	1
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Finitura interna	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	



Resistenza termica [m²K/W]	0.891
Trasmittanza [W/(m²K)]	1.122
Massa superficiale [kg/m²]	36
Sfasamento [ore]	2.41
Fattore di decremento [-]	0.918

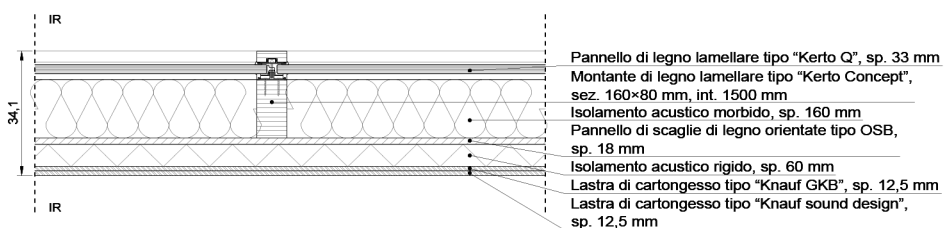
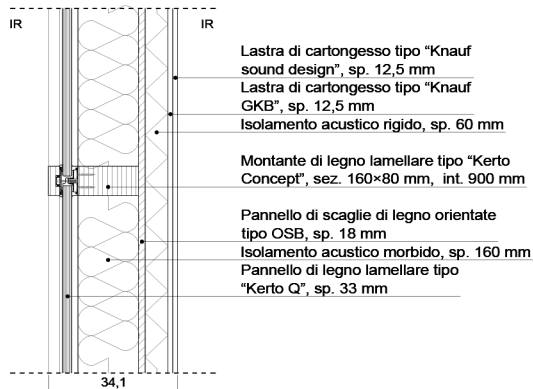


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.100	
Malta cementizia	0.006	1.400	1000	2000	0.004	50
Cls armato	0.250	1.800	1000	2500	0.139	130
Intonaco calce e gesso	0.008	0.900	1000	1800	0.009	11
Finitura interna	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.100	

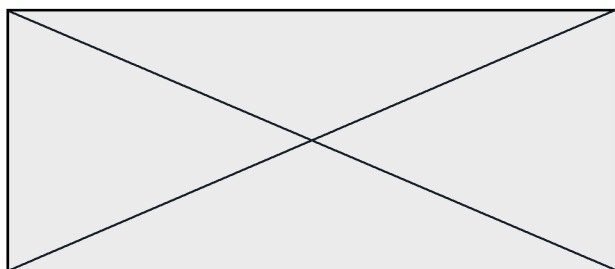


Resistenza termica [m²K/W]	0.359
Trasmittanza [W/(m²K)]	2.782
Massa superficiale [kg/m²]	657
Sfasamento [ore]	8.16
Fattore di decremento [-]	0.269

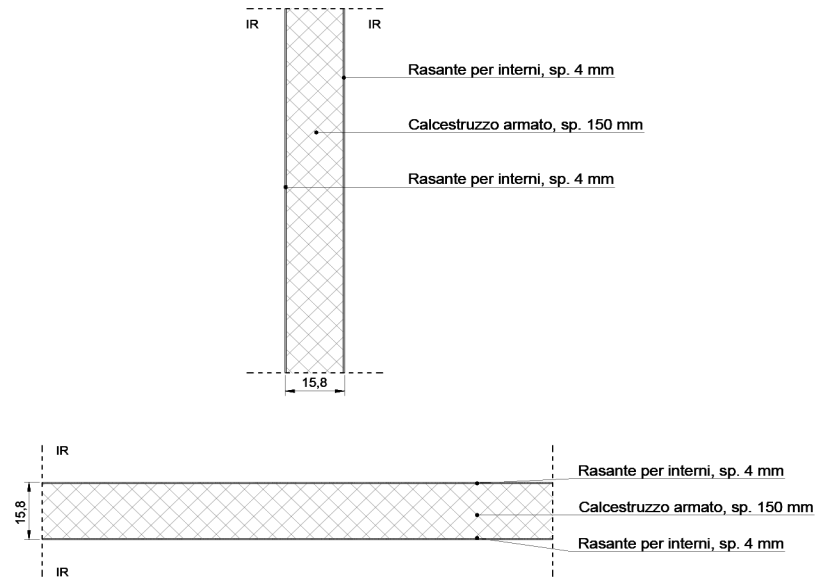
Parete interna con isolamento acustico - PV3



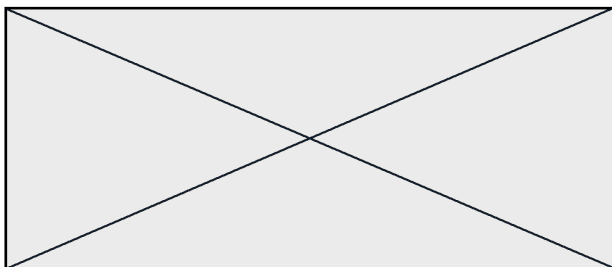
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Lastra di gesso fonoassorbante	0.013	0.210	837	900	0.060	8
Lastra di gesso Knauf GKB	0.013	0.210	837	900	0.060	8
Isolante termico rigido lordo di fibre di legno	0.060	0.039	2100	160	1.538	5
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.160	0.036	1480	35	4.444	2
Pannello di legno lamellare	0.033	0.130	1600	510	0.254	62
Strato laminare esterno					0.130	



Resistenza termica [m²K/W]	6.766
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.148
Massa superficiale [kg/m²]	66
Sfasamento [ore]	10.99
Fattore di decremento [-]	0.254

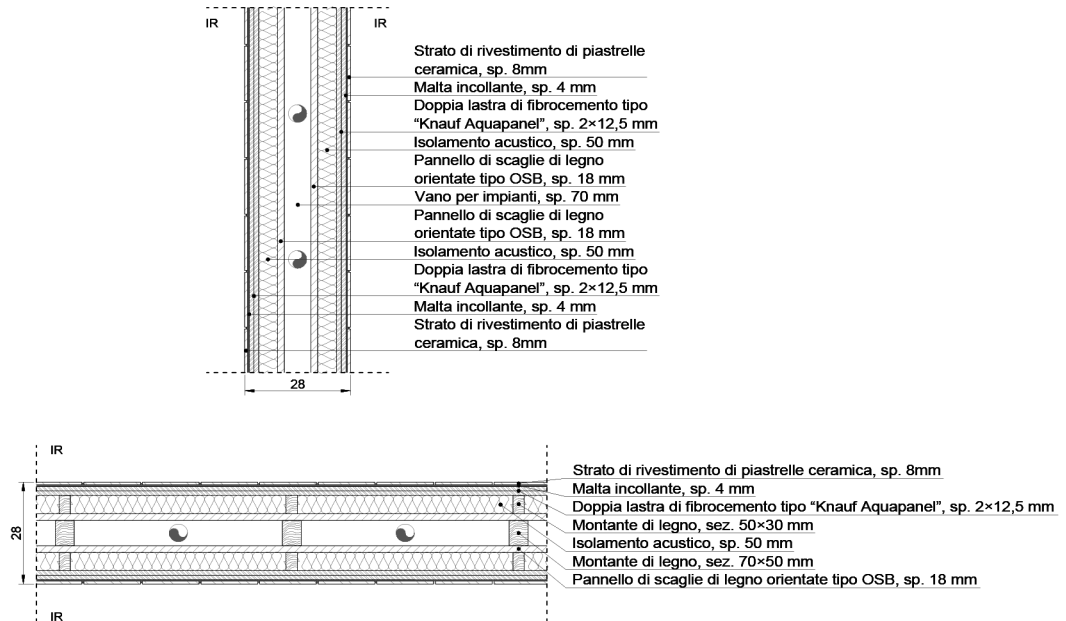


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Cis armato	0.150	1.800	1000	2500	0.083	130
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.130	

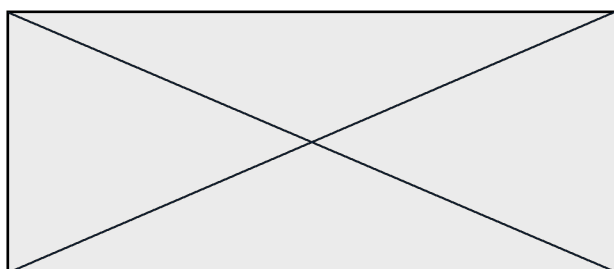


Resistenza termica [m²K/W]	0.358
Trasmittanza [W/(m²K)]	2.792
Massa superficiale [kg/m²]	387
Sfasamento [ore]	5.65
Fattore di decremento [-]	0.418

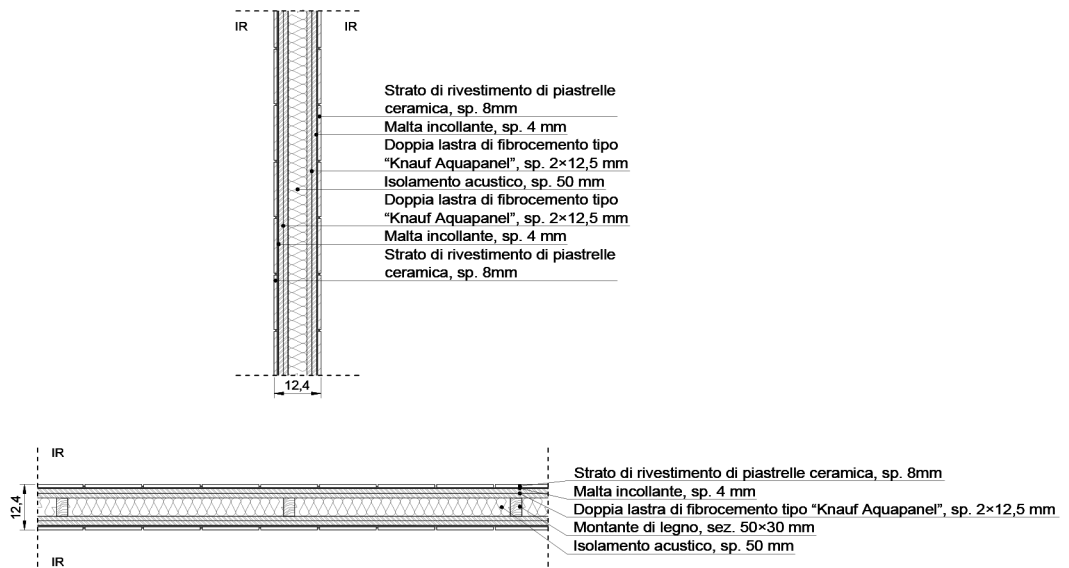
Parete interna con vano per impianti - PV5



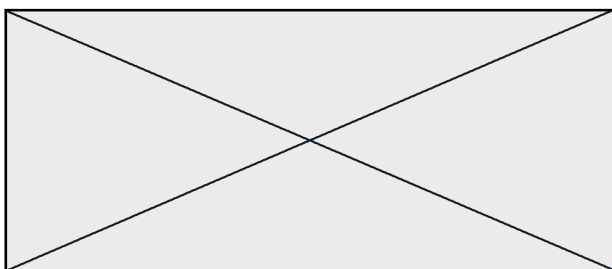
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conducibilità termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.050	0.036	1480	35	1.389	2
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Camera d'aria	0.070				0.013	1
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.050	0.036	1480	35	1.389	2
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Strato laminare esterno					0.130	



Resistenza termica [m²K/W]	3.554
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.281
Massa superficiale [kg/m²]	132
Sfasamento [ore]	9.33
Fattore di decremento [-]	0.294

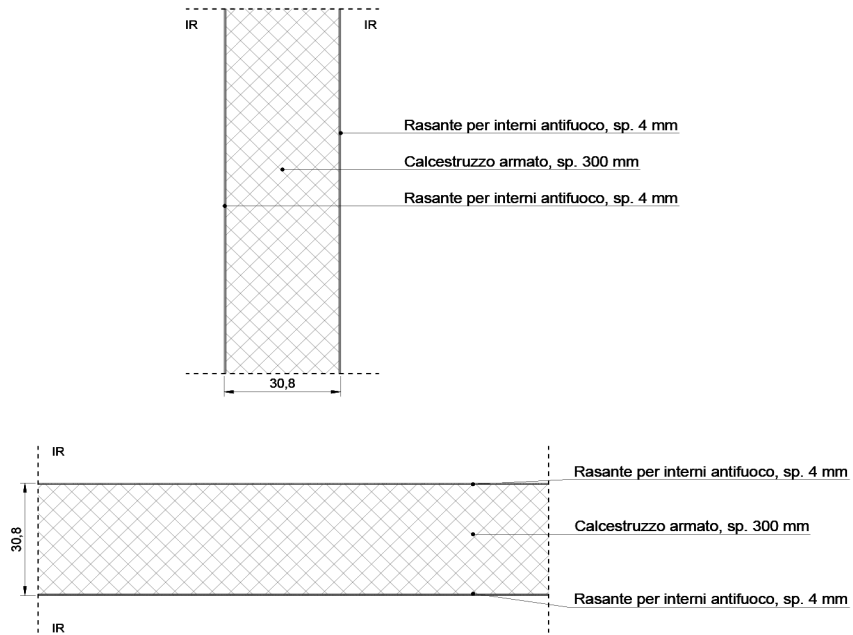


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.050	0.036	1480	35	1.389	2
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Strato laminare esterno					0.130	

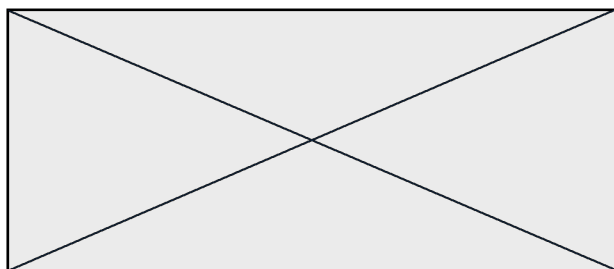


Resistenza termica [m²K/W]	1.852
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.540
Massa superficiale [kg/m²]	107
Sfasamento [ore]	4.06
Fattore di decremento [-]	0.807

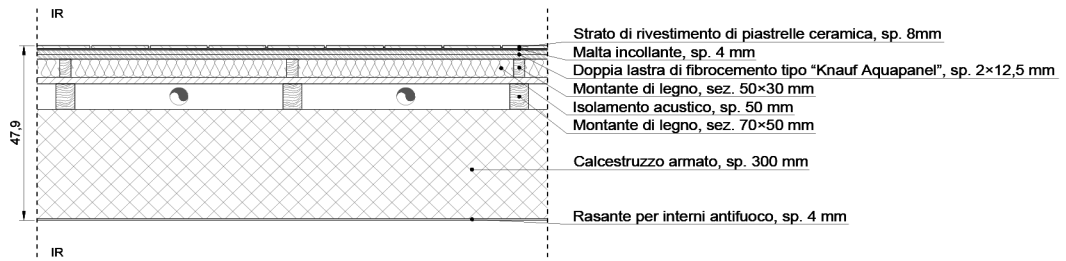
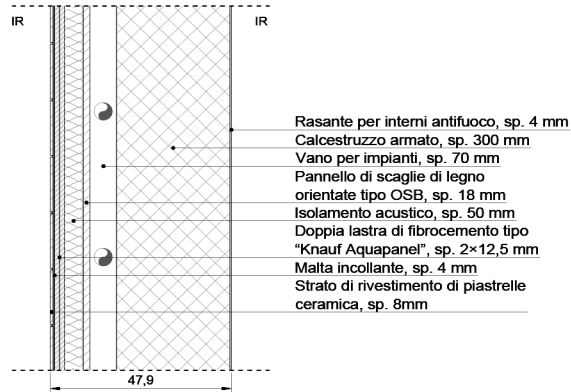
Parete interna strutturale antincendio - PV7



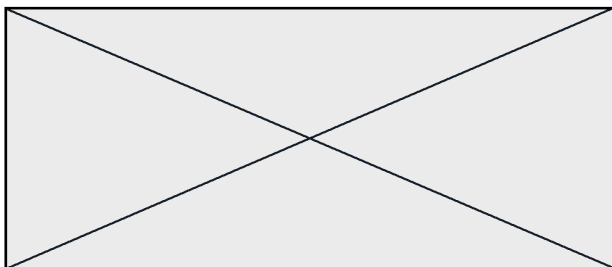
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduktività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Rasante resistente al fuoco	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Strato laminare esterno					0.130	



Resistenza termica [m²K/W]	0.441
Trasmittanza [W/(m²K)]	2.265
Massa superficiale [kg/m²]	762
Sfasamento [ore]	9.60
Fattore di decremento [-]	0.173

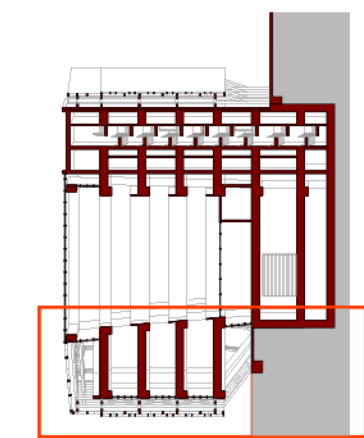
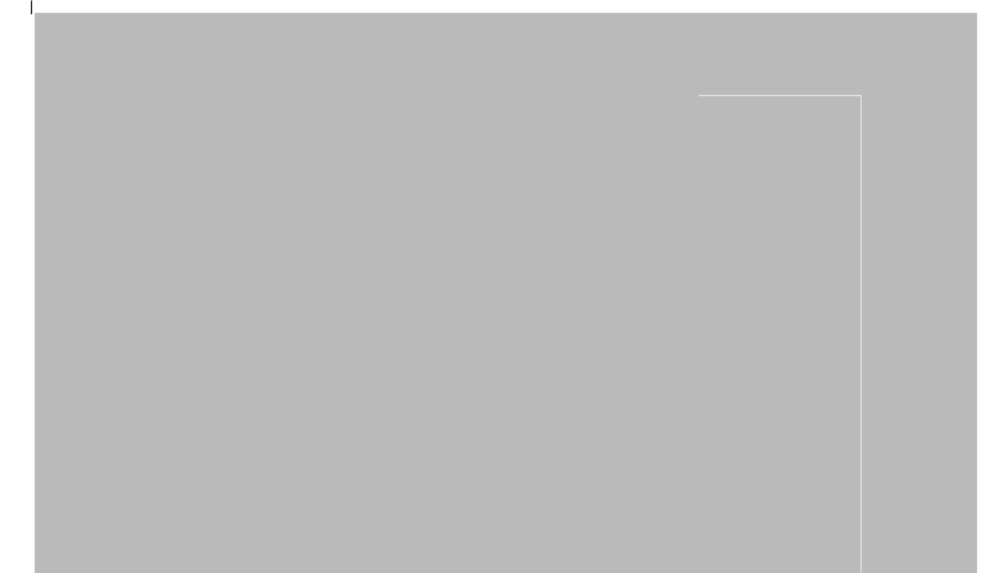
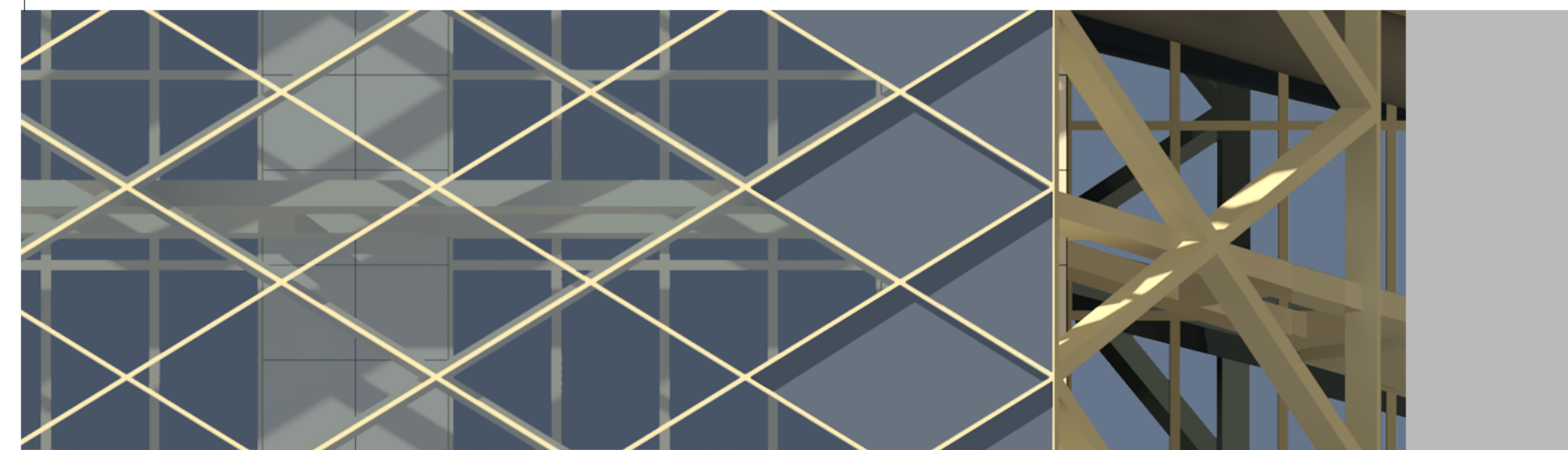
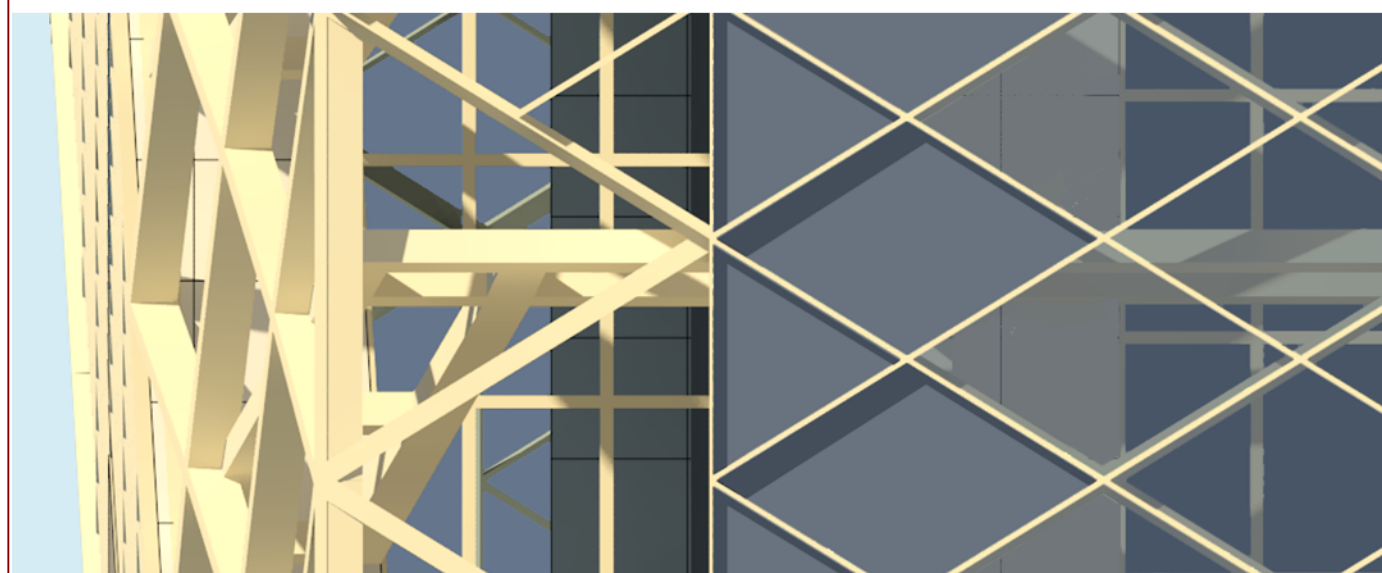
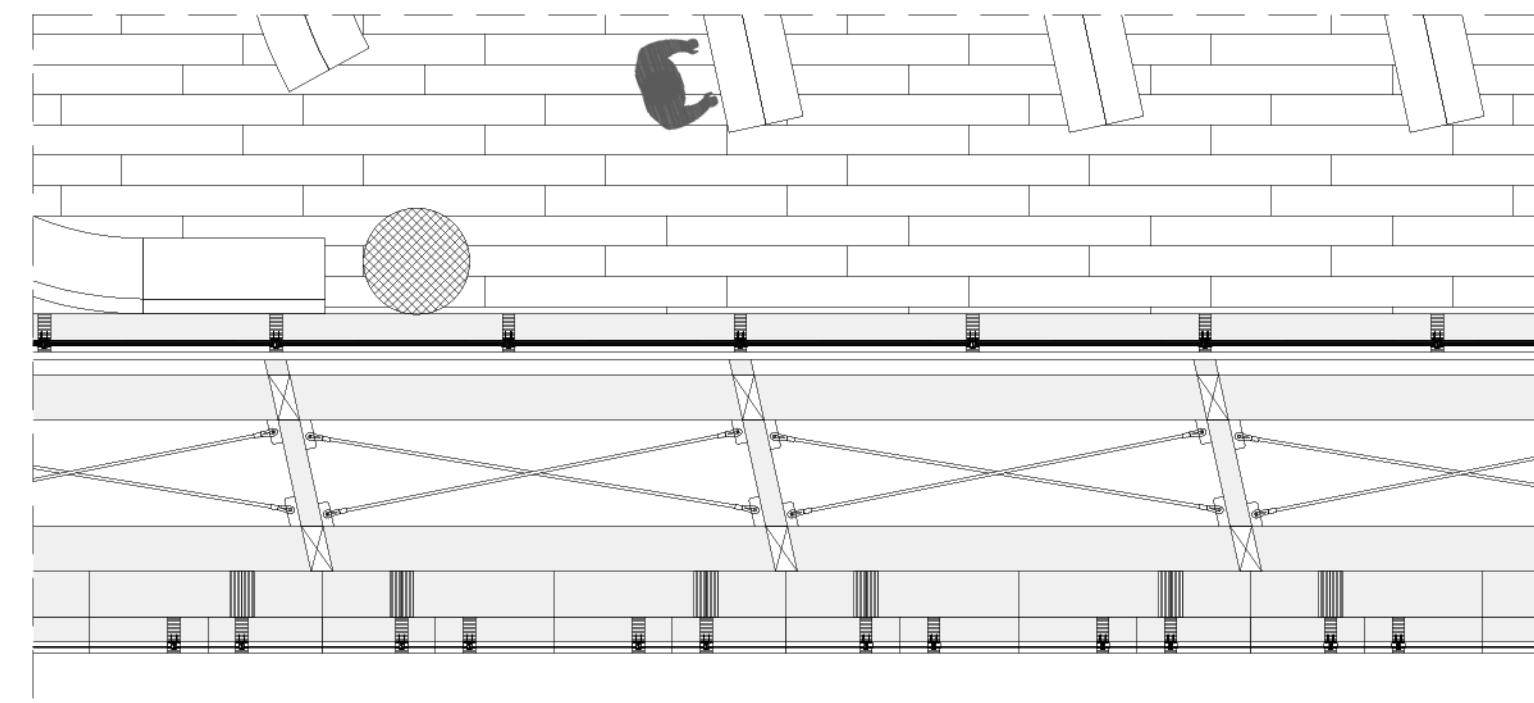
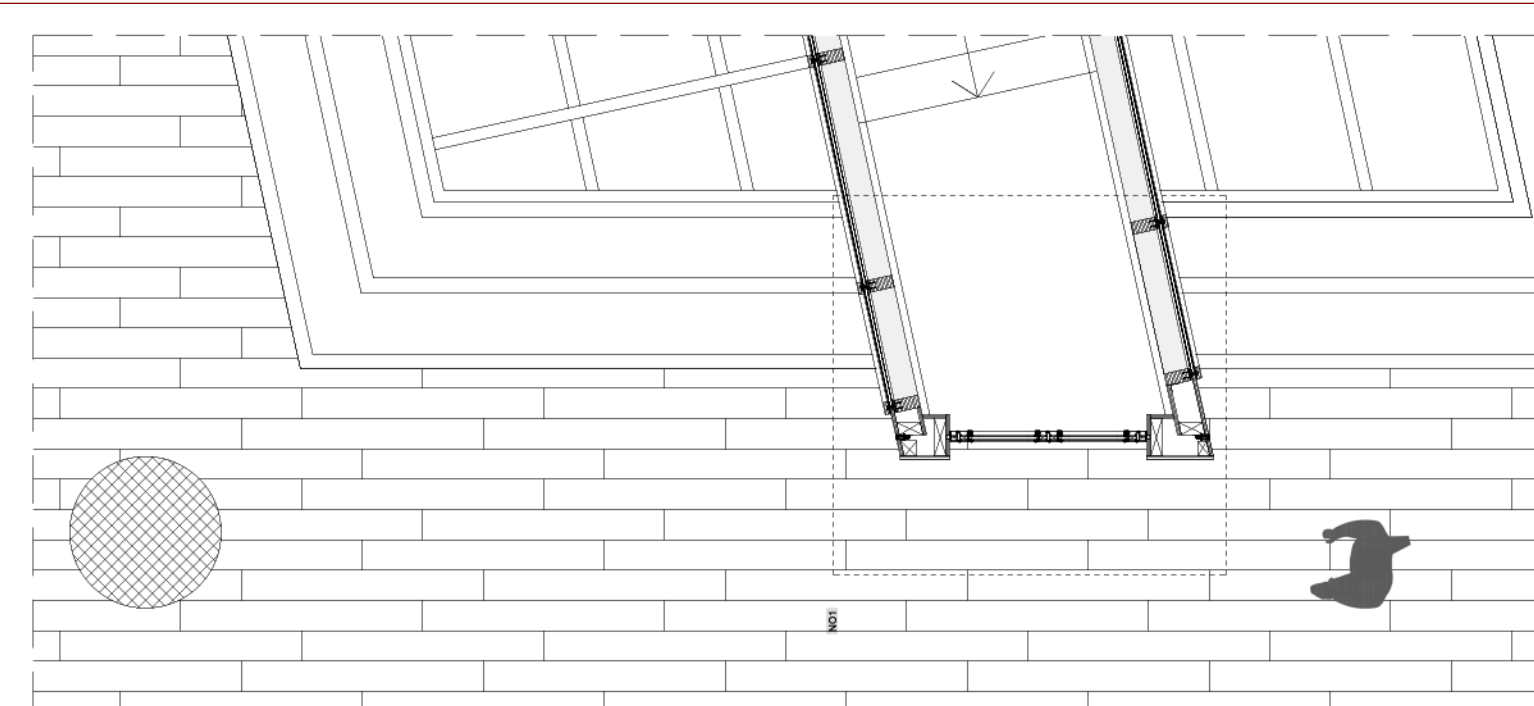
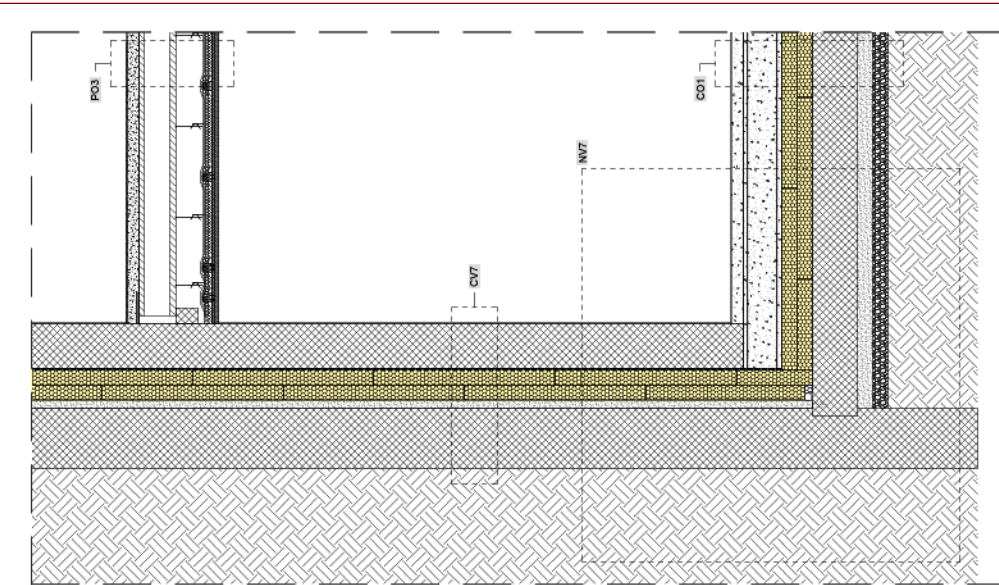
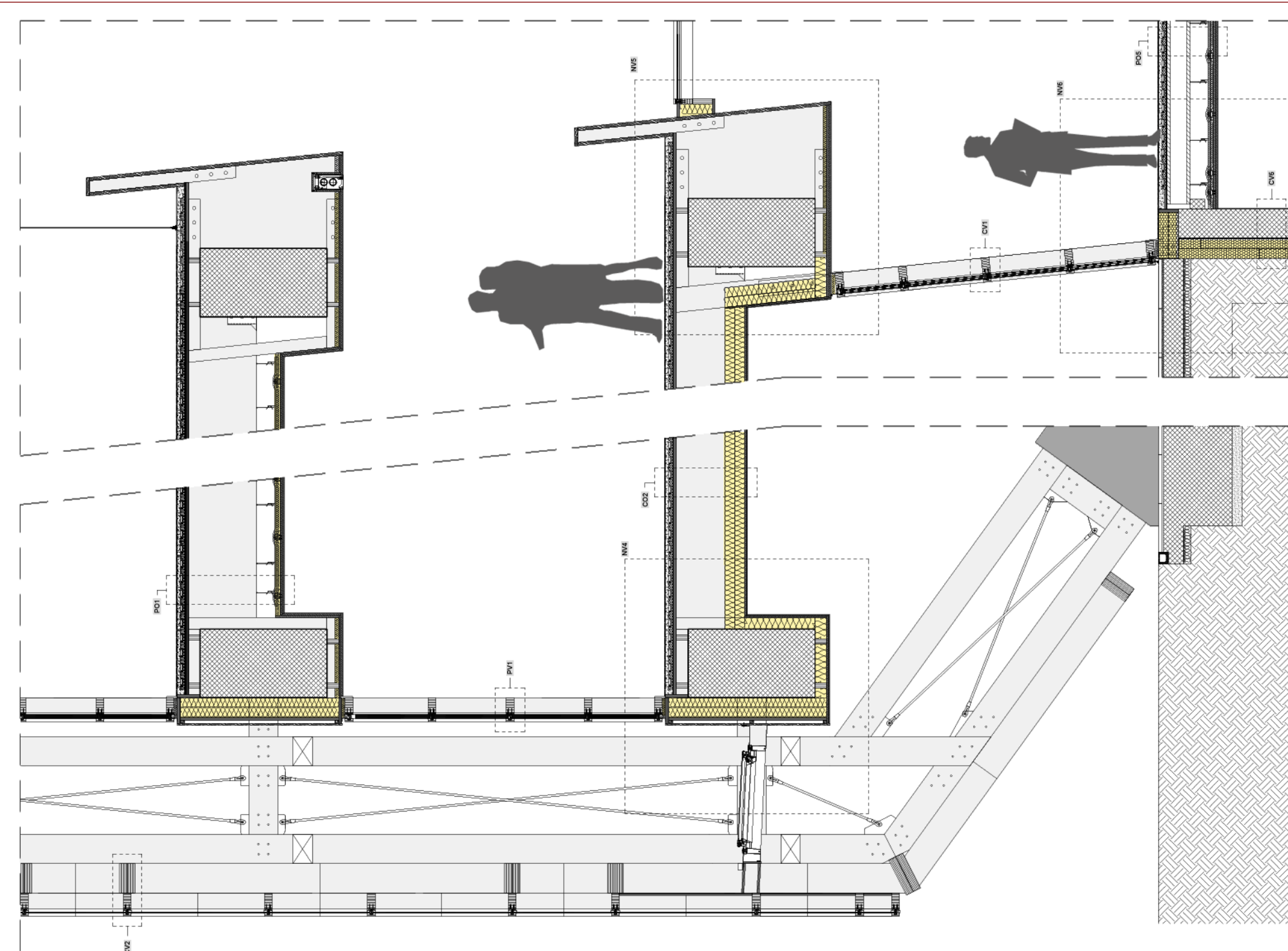
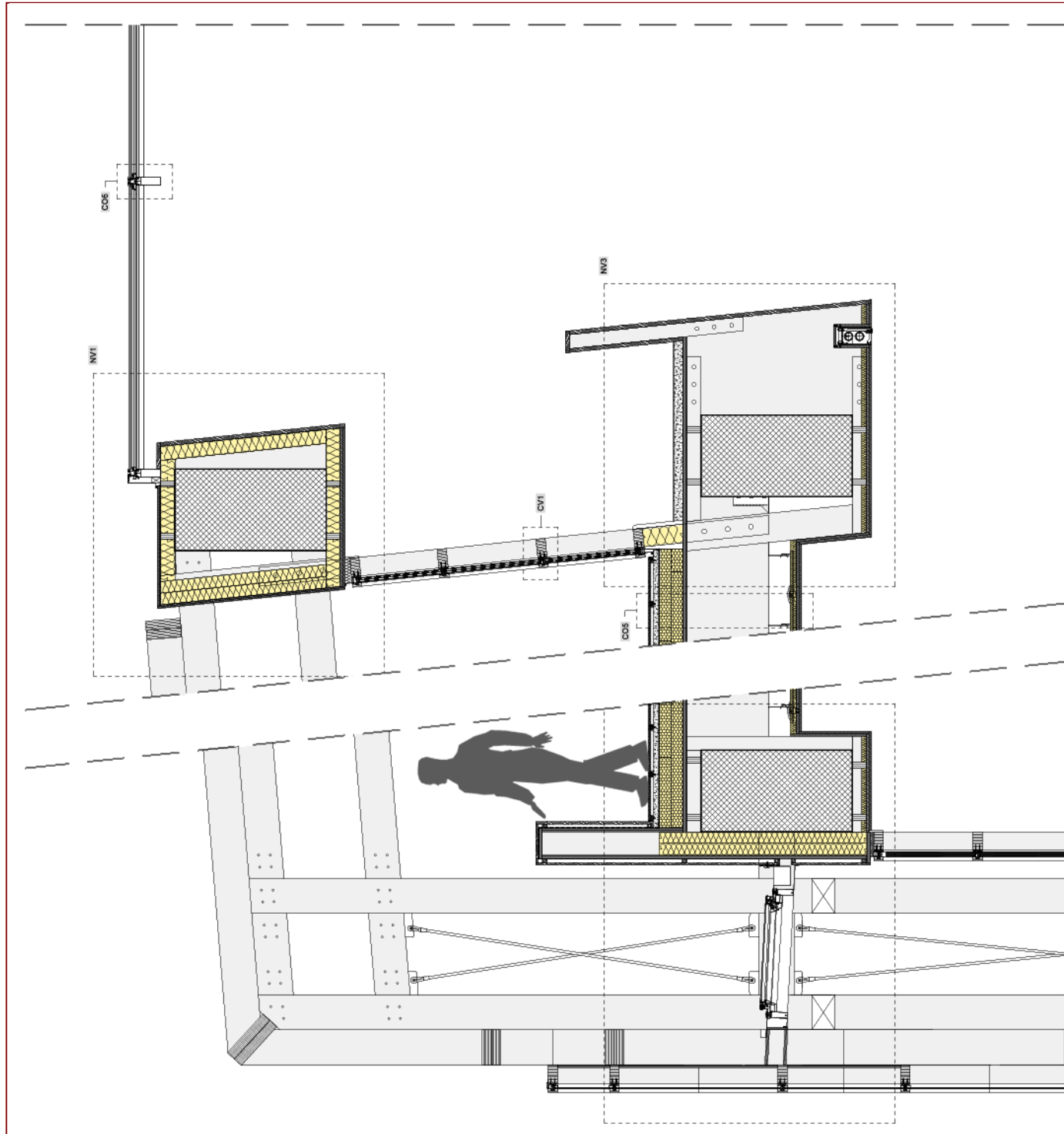


Descrizione dello strato	Spessore [m]	Conduttività termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Densità [kg/m³]	Resistenza termica [m²K/W]	Resistenza al vapore [-]
Strato laminare interno					0.130	
Finitura interna	0.004	0.540	1000	1500	0.007	11
Cls armato	0.300	1.800	1000	2500	0.167	130
Camera d'aria	0.070				0.130	1
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0.018	0.120	1700	640	0.150	40
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0.050	0.036	1480	35	1.389	2
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0.025	0.270	1000	1050	0.093	30
Malta cementizia	0.004	1.400	1000	2000	0.003	50
Piastrelle ceramica	0.008	1.300	840	2300	0.006	1
Strato laminare esterno					0.130	



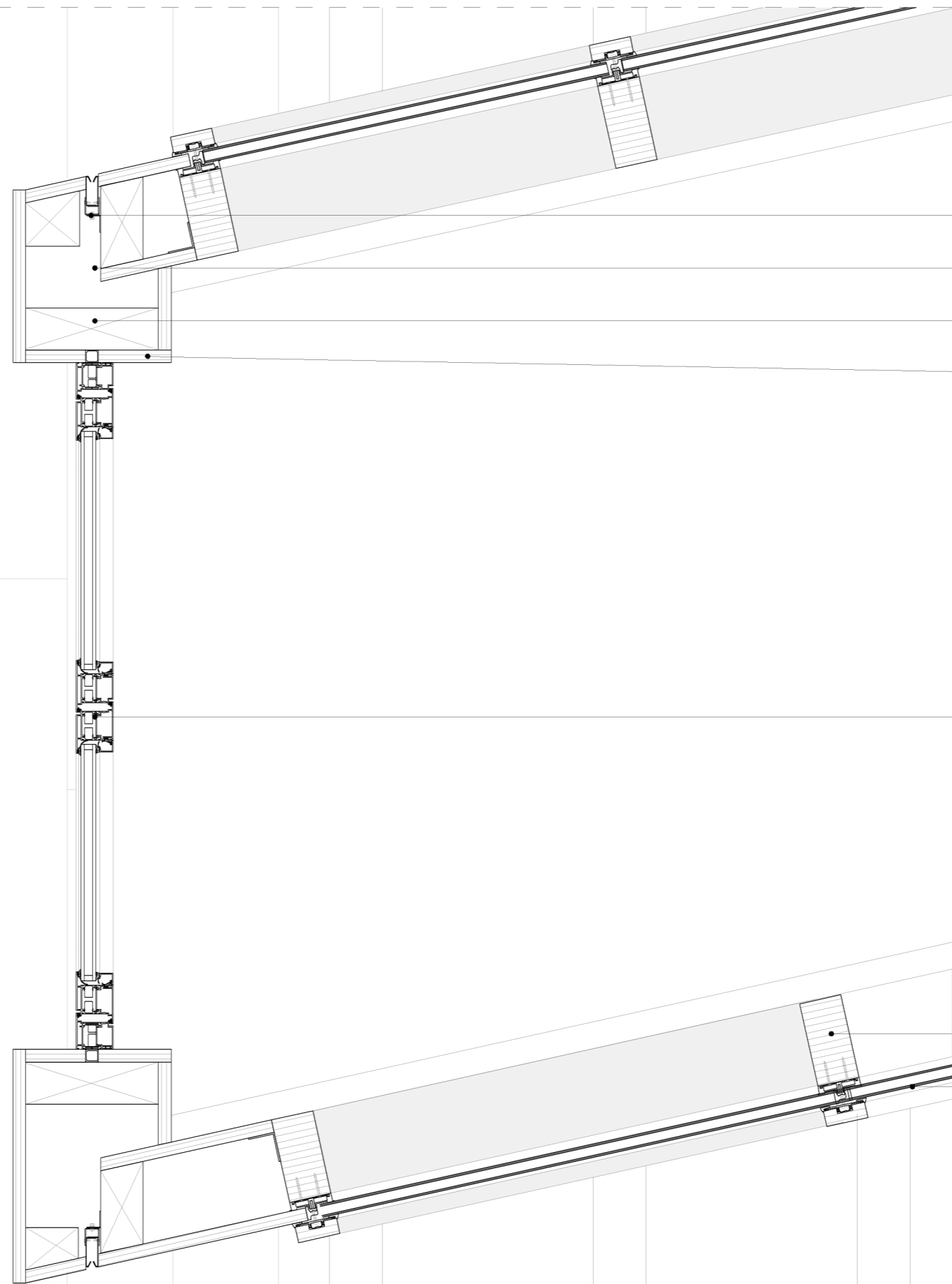
Resistenza termica [m²K/W]	2.205
Trasmittanza [W/(m²K)]	0.454
Massa superficiale [kg/m²]	822
Sfasamento [ore]	13.55
Fattore di decremento [-]	0.067

BLOW UP E NODI



Scala
1 : 50

NO1



Guida per veletta a fumo

Profilo a L di acciaio, dim. 50×50×2 mm

Trave di legno, sez. 80×250 mm

Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

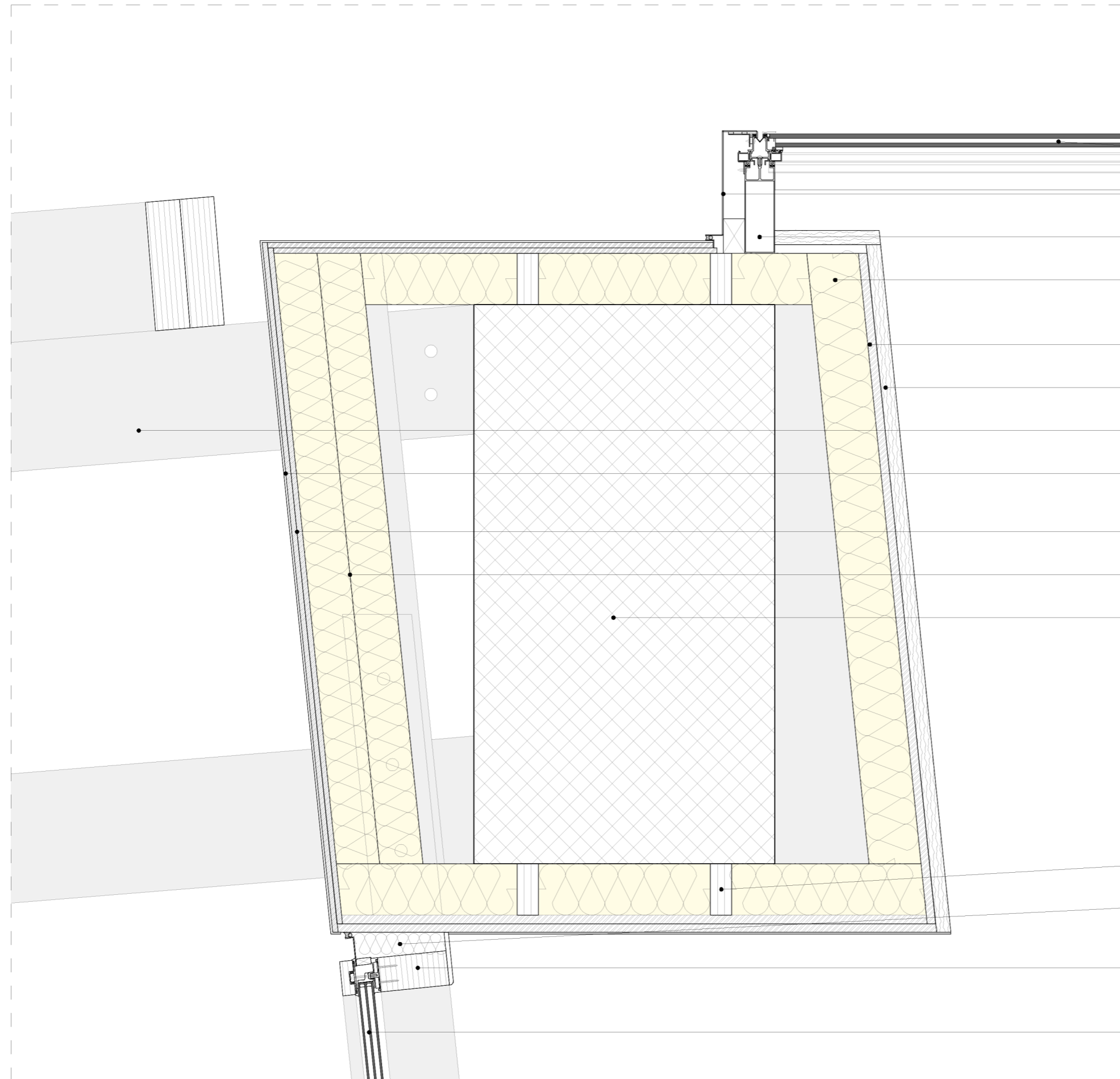
Serramento di alluminio, sez. 70×70 mm

Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 120×80 mm, int. 1500 mm

Vetro doppio con lama d'aria, sp. 4/16/4 mm

Scala
1 : 10

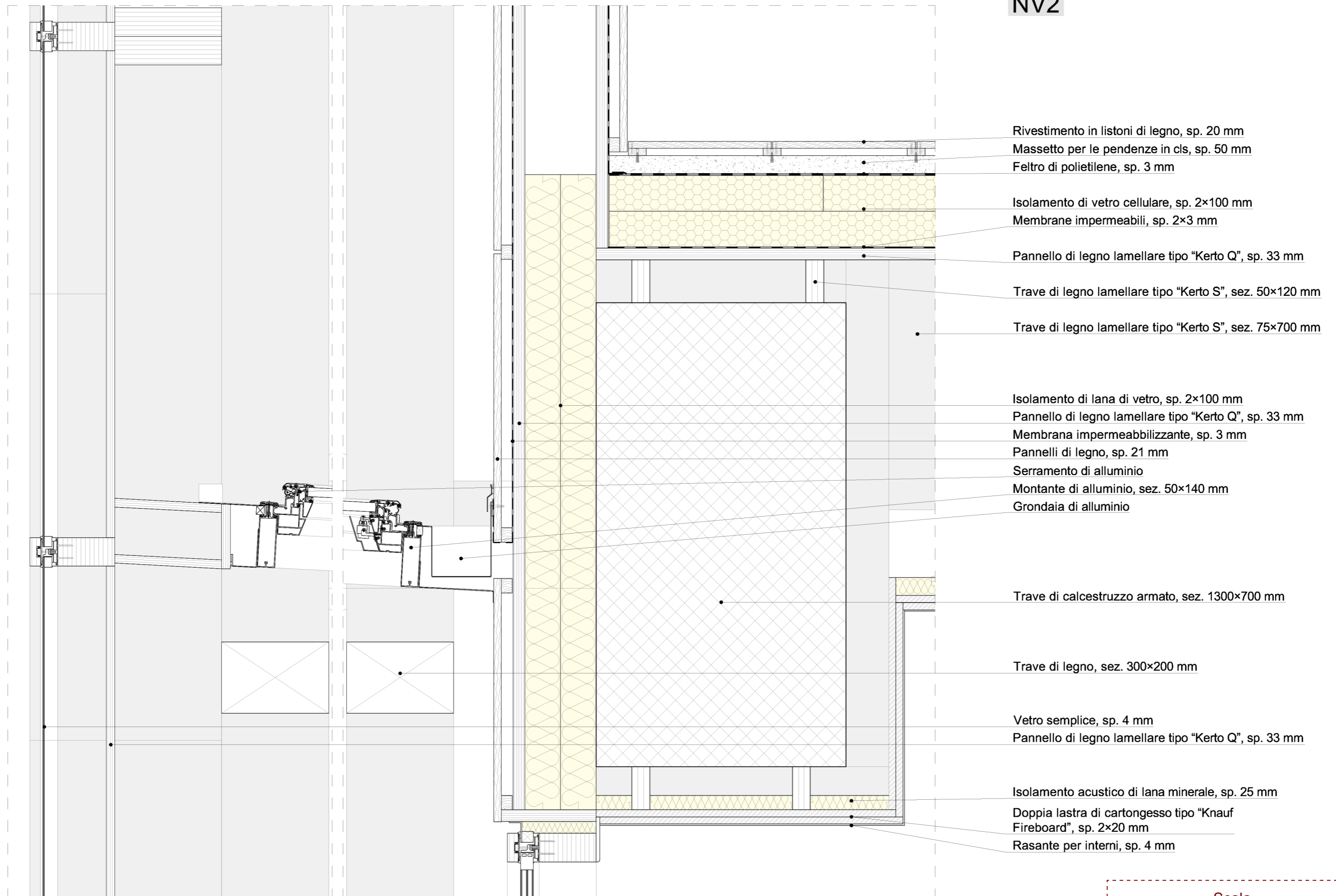
NV1



- Vetro doppio con trattamento bassa emissività e lama d'aria, sp. 10/12/10 mm
- Profilo di alluminio, sp. 2 mm
- Montante di alluminio, sez. 170×70 mm, int. 1500 mm
- Isolamento di lana di vetro, sp. 120 mm
- Lastra di cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 20 mm
- Pannello di legno, sp. 21 mm
- Trave di legno, sez. 200×300 mm
- Rasante per esterni, sp. 4 mm
- Doppia lastra di fibrocemento tipo "Knauf Aquapanel", sp. 2×12,5 mm
- Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm
- Trave di calcestruzzo armato, sez. 700×1200 mm
- Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm
- Isolamento di lana di vetro, sp. 50 mm
- Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 160×80 mm, int. 900 mm
- Vetro triplo con trattamento bassa emissività e lama d'argo, sp. 4/12/4/12/4 mm

Scala
1 : 10

NV2



Rivestimento in listoni di legno, sp. 20 mm
 Massetto per le pendenze in cls, sp. 50 mm
 Feltro di polietilene, sp. 3 mm

Isolamento di vetro cellulare, sp. 2×100 mm
 Membrane impermeabili, sp. 2×3 mm

Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 50×120 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 75×700 mm

Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm
 Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm
 Membrana impermeabilizzante, sp. 3 mm
 Pannelli di legno, sp. 21 mm
 Serramento di alluminio
 Montante di alluminio, sez. 50×140 mm
 Grondaia di alluminio

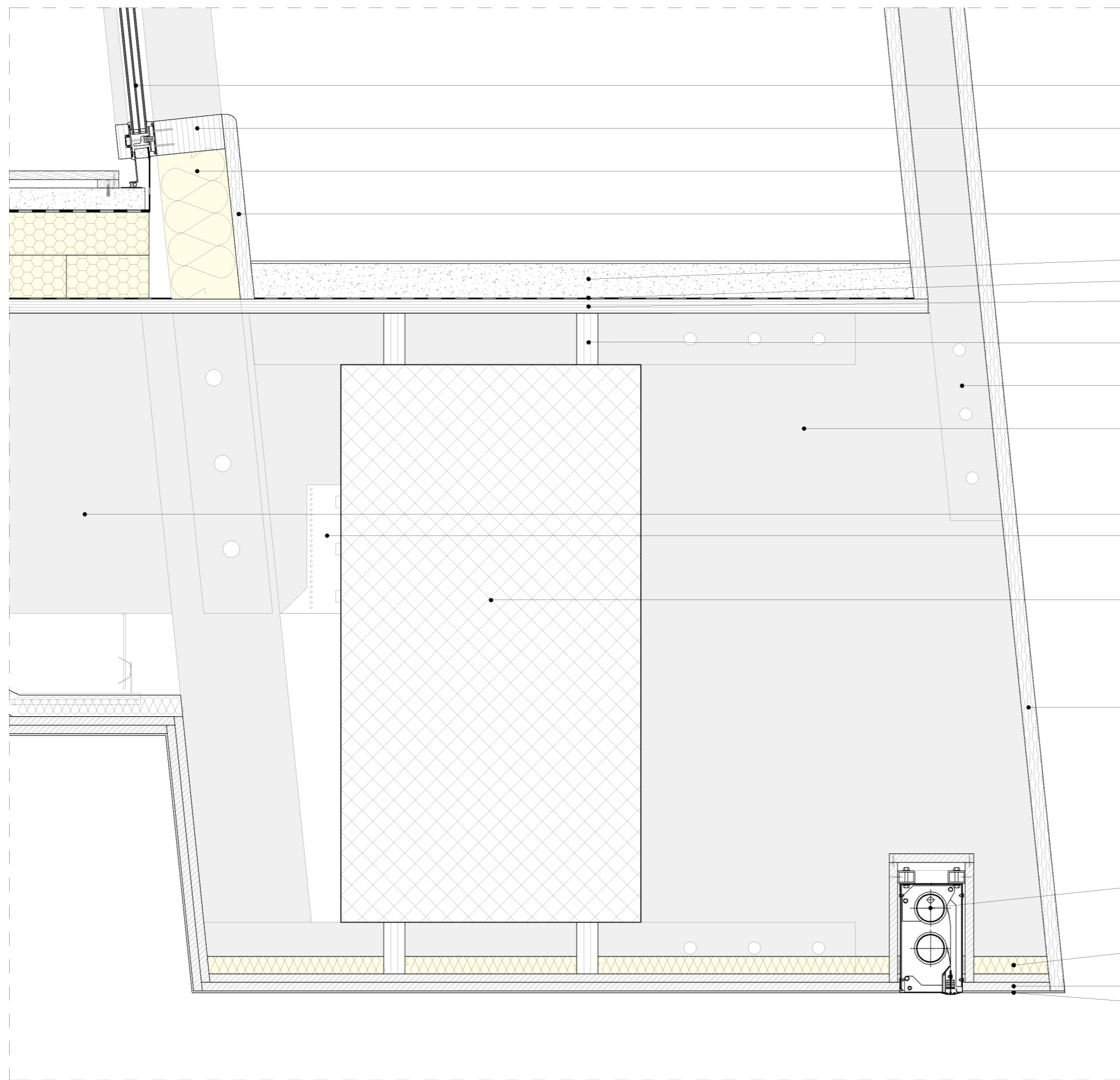
Trave di calcestruzzo armato, sez. 1300×700 mm

Trave di legno, sez. 300×200 mm

Vetro semplice, sp. 4 mm
 Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

Isolamento acustico di lana minerale, sp. 25 mm
 Doppia lastra di cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2×20 mm
 Rasante per interni, sp. 4 mm

Scala
 1 : 10



NV3

Vetro triplo con trattamento bassa emissività e lama d'argo, sp. 4/12/4/12/4 mm

Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 160×80 mm, int. 900 mm

Isolamento di lana minerale, sp. 160 mm

Zoccolo di legno, sp. 20 mm

Masseto di cls, sp. 80 mm

Feltro di polietilene sp. 3 mm

Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 50×120 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 50×120 mm

Pannello strutturale di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 75×700 mm

Staffa di acciaio

Trave di calcestruzzo armato, sez. 700×1200 mm

Pannello di legno, sp. 21 mm

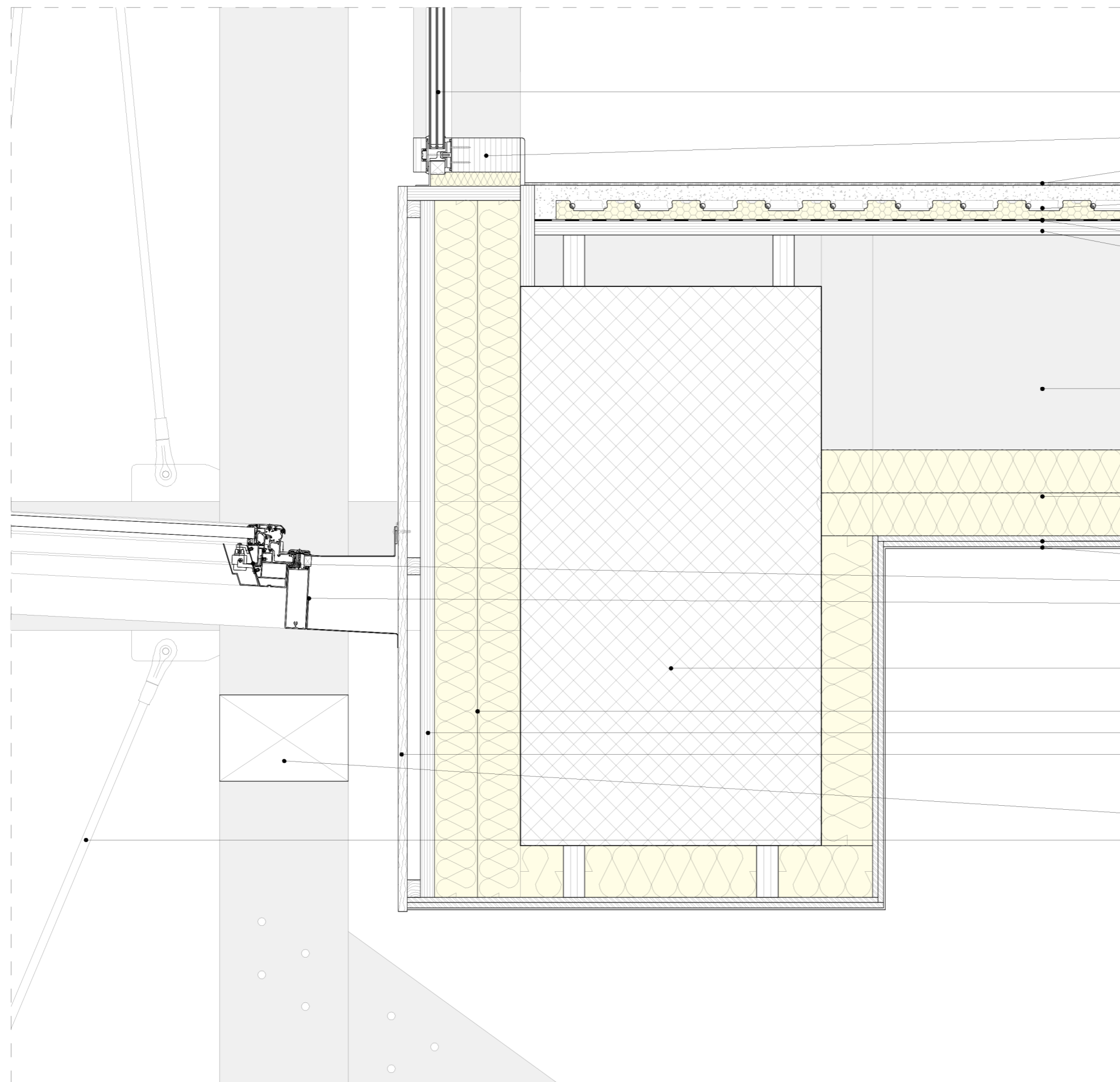
Sistema di vellete a fumo, dim. 150×250 mm

Isolamento acustico di lana minerale, sp. 50 mm

Doppia lastra di cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2×20 mm

Rasante per interni, sp. 4 mm

Scala
1 : 10



NV4

Vetro triplo con trattamento bassa emissività e lama d'argento, sp. 4/12/4/12/4 mm

Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 160×80 mm, int. 900 mm

Moquette, sp. 6 mm

Riscaldamento radiante: polietilene, tubi, getto di caldaia, sp. 80 mm

Feltro di polietilene, sp. 3 mm

Barriera al vapore in alluminio, sp. 0,3 mm

Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 700×75 mm

Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm

Doppia lastra di fibrocemento tipo "Knauf Aquapanel", sp. 2×12,5 mm

Rasante per esterni, sp. 4 mm

Serramento di alluminio

Montante di alluminio, sez. 50×140 mm

Trave in calcestruzzo armato, sez. 1300×700 mm

Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm

Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm

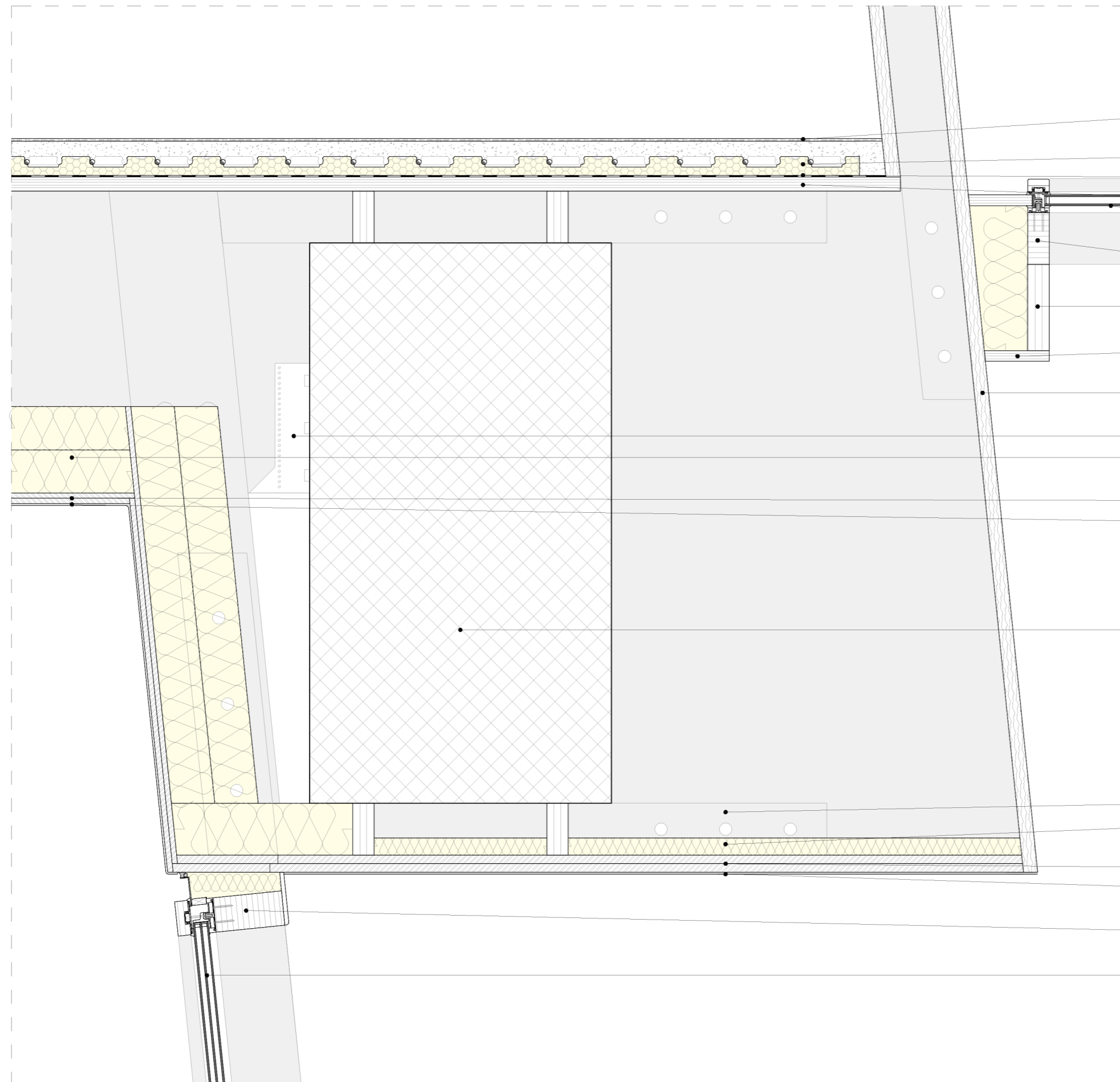
Pannello di legno, sp. 21 mm

Trave di legno, sez. 300×200 mm

Tirante di acciaio, Ø 20 mm

Scala
1 : 10

NV5



- Moquette, sp. 6 mm
- Riscaldamento radiante: polietilene, tubi, getto di caldaia, sp. 80 mm
- Filtro di polietilene, sp. 3 mm
- Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm
- Vetro doppio con lama d'aria, sp. 4/16/4 mm
- Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 50×120 mm
- Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 51×200 mm
- Pannello di legno lamellare tipo "Kerto Q", sp. 33 mm
- Pannello di legno, sp. 21 mm
- Staffa di acciaio
- Isolamento di lana di vetro, sp. 2×100 mm
- Doppia lastra di fibrocemento tipo "Knauf Aquapanel", sp. 2×12,5 mm
- Rasante per esterni, sp. 4 mm
- Trave in calcestruzzo armato, sez. 1300×700 mm
- Trave di legno lamellare tipo "Kerto S", sez. 50×120 mm
- Isolamento acustico di lana minerale, sp. 25 mm
- Doppia lastra di cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2×20 mm
- Rasante per interni, sp. 4 mm
- Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept", sez. 160×80 mm, int. 900 mm
- Vetro triplo con trattamento bassa emissività e lama d'argo, sp. 4/12/4/12/4 mm

Scala
1 : 10

NV6

Montante di legno lamellare tipo "Kerto Concept",
sez. 160×80 mm, int. 900 mm

Vetro triplo con trattamento bassa emissività e lama d'argo,
sp. 4/12/4/12/4 mm

Piastrelle di pietra, sp. 30 mm

Malta cementizia, sp. 20 mm

Calcestruzzo armato, sp. 200 mm

Finizione di cls liscio, sp. 5 mm

Riscaldamento radiante: polietilene, tubi,
getto di caldaia, sp. 80 mm

Feltro di polietilene, sp. 3 mm

Pannelli alveolari precompressi, sez. 1200×240 mm

Pendino regolabile

Profilo a C, dim. 60×27×0,6 mm

Isolamento acustico di lana minerale, sp. 50 mm

Doppia lastra di cartongesso tipo "Knauf Fireboard",
sp. 2×20 mm

Rasante per interni, sp. 4 mm

Rasante per interni, sp. 4 mm

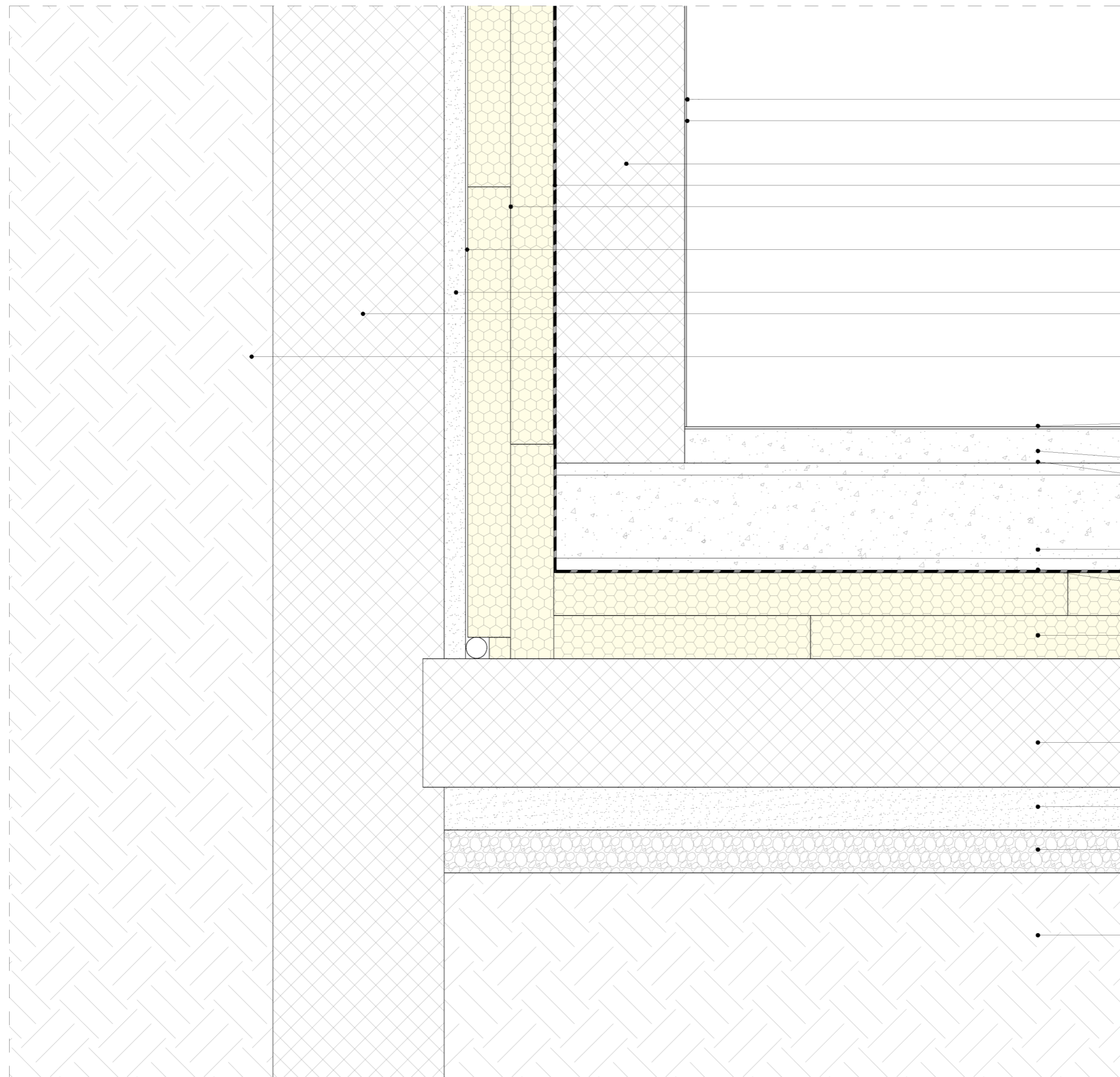
Intonaco di calce e gesso, sp. 8 mm

Calcestruzzo armato, sp. 300 mm

Membrana bituminosa, sp. 2×6 mm

Isolamento di vetro cellulare, sp. 2×100 mm

Scala
1 : 10



NV7

Rasante per interni, sp. 4 mm
Intonaco, sp. 8 mm

Calcestruzzo armato, sp. 300 mm
Membrana bituminosa, sp. 2x6 mm
Isolamento di vetro cellulare, sp. 2x100 mm

Drenaggio di sicurezza, sp. 5 mm

Calcestruzzo per livellamento, sp. 50 mm
Pariete in calcestruzzo armato, sp. 400 mm

Terreno bagnato con pressione idrostatica

Finizione di cls liscio, sp. 5 mm
Riscaldamento radiante: polietilene, tubi,
getto di caldaia, sp. 80 mm
Feltro di polietilene, sp. 3 mm

Calcestruzzo armato, sp. 250 mm

Membrane in bitume, sp. 2x6 mm

Isolamento di vetro cellulare, sp. 2x100 mm

Calcestruzzo armato, sp. 400 mm

Magrone, sp. 100 mm

Ghiaia, sp. 100 mm

Terreno bagnato con pressione idrostatica

Scala
1 : 10

PARTE 5 - PROGETTO STRUTTURALE

INDICE	299
CARATTERISTICHE DEL PROGETTO	302
CLASSE STRUTTURALE	302
CATEGORIA DELL'EDIFICIO	302
FORMA E PRINCIPI PROGETTUALI	304
AZIONI	310
Classificazione.....	310
Combinazioni di azioni.....	310
Calcolo variabile di neve.....	312
CALCOLO DEI PESI PROPRI	313
Solaio contro terra - CO1.....	314
Solaio su spazio aperto - CO2.....	315
Solaio su spazio aperto per terrazze - CO3.....	316
Tetto piano calpestabile - CO4.....	317
Tetto piano non calpestabile - CO5.....	318
Copertura di vetro - CO6.....	319
Parete perimetrale di vetro - CV1.....	320
Parete perimetrale di vetro su spazio non riscaldato - CV2.....	321
Parete perimetrale - CV3.....	322
Parete perimetrale strutturale - CV4.....	323
Parete perimetrale strutturale con vano per impianti - CV5.....	324
Parete contro terra sotto il livello +3.0 mslm - CV6.....	325
Parete contro terra sopra il livello +3.0mslm - CV7.....	326
Solaio di interpiano con impianti - PO1.....	327
Solaio di interpiano con isolamento acustico - PO2.....	328
Solaio di interpiano in cls alveolare - PO3.....	329
Solaio di interpiano nei servizi - PO4.....	330
Passerella - PO5.....	331
Solaio terrazza - PO6.....	332
Vano scala in legno - PO7.....	333
Vano scala in calcestruzzo - PO8.....	334
Parete di vetro maggiore - PV1.....	335
Parete di vetro minore - PV2.....	336
Parete interna con isolamento acustico - PV3.....	337
Parete interna antincendio - PV4.....	338
Parete interna con vano impianti - PV5.....	339
Parete interna con protezione contro l'umidità - PV6.....	340
Parete strutturale antincendio - PV7.....	341
Parete interna strutturale con protezione contro l'umidità - PV8.....	342
PIANTE STRUTTURALI	343
FONDAZIONI	344
PIANO INTERRATO	346
PIANO RIALZATO	348
PRIMO PIANO	350
SECONDO PIANO	352
TERZO PIANO	354
QUARTO PIANO	356
TETTO	358

SEZIONE AA.....	360
SEZIONE BB.....	362
SEZIONE CC.....	364
CALCOLI DI SOLAI	367
PRIMO CASO: SOLAIO NELLA PARTE DI SCAFFALI DELLA COLLEZIONE.....	368
Calcolo delle Combinazioni d'azioni.....	368
Calcolo delle sollecitazione e delle reazione d'appoggio.....	370
Calcolo delle tensioni dovute alle sollecitazione.....	371
Calcolo della freccia nel solaio.....	371
SECONDO CASO: SOLAIO NELLA PARTE DEGLI STUDI.....	373
Calcolo delle Combinazioni d'azioni.....	373
Calcolo delle sollecitazione e delle reazione d'appoggio.....	375
Calcolo delle tensioni dovute alle sollecitazione.....	377
Calcolo della freccia nel solaio.....	378
CALCOLI PER IL VANO SCALA	379
Calcolo delle combinazioni d'azioni.....	381
Calcolo delle sollecitazione e delle reazione d'appoggio.....	383
Calcolo delle tensioni dovuti alle sollecitazioni.....	386
Calcolo della freccia nella trave.....	387
CALCOLI DI TRAVI PRINCIPALI	393
Calcolo delle Combinazioni d'azioni.....	395
Sezioni di calcolo.....	396
Fasi di calcolo.....	396
Tesatura e posizione delle armature di acciaio precompresso.....	399
VERIFICHE DELLE TENSIONI NELLA SEZIONE A.....	400
Studio delle perdite immediate.....	402
Fase incrementale: sovraccarichi permanenti.....	405
Fase incrementale: sovraccarichi variabili.....	405
Fase incrementale: Perdite differite.....	406
VERIFICHE DELLE TENSIONI NELLA SEZIONE A'.....	410
VERIFICHE DEL MOMENTO FLETTENTE MASSIMO NELLA TRAVE (SEZIONE A).....	410
VERIFICHE DEL TAGLIO MASSIMO NELLA TRAVE (SEZIONE B).....	412

CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

CLASSE STRUTTURALE

Il nostro progetto è un'opera maggiore della città di Helsinki per la sua nuova biblioteca. La biblioteca è un edificio pubblico quindi deve essere calcolata con delle classe speciale di calcolo come definite nella norma Eurocodice 0 (EN 1990:2002).

Vita nominale: VN = 150 anni.

Ref. 5.1 - Brief del concorso per la biblioteca

Classe strutturale: S5 – Monumental building structures, bridges and other civil engineering structure

Ref. 5.2 - EN 1990:2002 – Table 2.1

Classe di conseguenze: CC1 – High consequences for loss of human, or economic, social or environmental consequences very great.

Ref. 5.3 - EN 1990:2002 – Table B1

Reliability index: $\beta = 4.3$ (50 year reference period.)

Ref. 5.4 - EN 1990:2002 – Table B2

CATEGORIA DELL'EDIFICIO

L'edificio è una biblioteca composta di diversi spazi con funzioni definite. Queste funzioni possono essere categorizzate secondo l'Eurocodice 1. Queste categorie sono definite dalla tipologia dell'area di calcolo (quanti persone usano lo spazio, se ci sono arredi fissi...). Da queste categorie la norma fornisce un sovraccarico per i calcoli delle azioni.

Ref. 5.5 - UNI EN 1991-1-1:2004 – Prospetti 6.1 a 6.12

Nome funzione	Categoria di destinazione d'uso	Descrizione	Sovraccarico (kN/m ²)
Amministrazione	Categoria B	Aree per uffici	3,0
Saggistica	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
	Categoria E1	Aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.	7,5
Letteratura	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
	Categoria E1	Aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.	7,5
Sale di lavoro	Categoria C2	Aree con posti a sedere fissi, per esempio, aree nelle chiese, teatri o cinema, sale per conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'attesa, sale d'attesa ferroviarie.	4,0

Prospetto 5.1 - Categorie di destinazione d'uso - 1.

Nome funzione	Categoria di destinazione d'uso	Descrizione	Sovraccarico (kN/m ²)
Multimediale	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
	Categoria E1	Aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.	7,5
Studi	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
Attività	Categoria C3	Aree prive di ostacoli al movimento delle persone, per esempio, aree nei musei, sale d'esposizione, ecc., e aree di accesso negli edifici pubblici ed amministrativi, alberghi, ospedali, atri di stazioni ferroviarie.	5,0
Informatica	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
	Categoria E	Aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.	7,5
Sala informatica	Categoria C2	Aree con posti a sedere fissi, per esempio, aree nelle chiese, teatri o cinema, sale per conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'attesa, sale d'attesa ferroviarie.	4,0
Spazi di mostre	Categoria C3	Aree prive di ostacoli al movimento delle persone, per esempio, aree nei musei, sale d'esposizione, ecc., e aree di accesso negli edifici pubblici ed amministrativi, alberghi, ospedali, atri di stazioni ferroviarie.	5,0
Spazi interattivi e living lab	Categoria C3	Aree prive di ostacoli al movimento delle persone, per esempio, aree nei musei, sale d'esposizione, ecc., e aree di accesso negli edifici pubblici ed amministrativi, alberghi, ospedali, atri di stazioni ferroviarie.	5,0
Ristorante	Categoria C1	Aree con tavoli, ecc, per esempio, aree in scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, sale di lettura, sale di ricevimento.	3,0
Terrazza	Categoria I	Coperture accessibili con occupazione secondo le categorie da A a D	3,0
Periodici	Categoria C3	Aree prive di ostacoli al movimento delle persone, per esempio, aree nei musei, sale d'esposizione, ecc., e aree di accesso negli edifici pubblici ed amministrativi, alberghi, ospedali, atri di stazioni ferroviarie.	5,0
Spazio bambini	Categoria C3	Aree prive di ostacoli al movimento delle persone, per esempio, aree nei musei, sale d'esposizione, ecc., e aree di accesso negli edifici pubblici ed amministrativi, alberghi, ospedali, atri di stazioni ferroviarie.	5,0

Prospetto 5.2 - Categorie di destinazione d'uso - 2.

Nome funzione	Categoria di destinazione d'uso	Descrizione	Sovraccarico (kN/m ²)
Settore d'ingresso	Categoria C5	Aree suscettibili di grande affollamento, per esempio in edifici che ospitano eventi pubblici, come sale da concerto, palazzi degli sport, incluse le tribune, le gradinate e le aree d'accesso e le piattaforme ferroviarie	5,0
Spazi Relax	Categoria C2	Aree con posti a sedere fissi, per esempio, aree nelle chiese, teatri o cinema, sale per conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'attesa, sale d'attesa ferroviarie.	4,0
Attività commerciali	Categoria D1	Aree per acquisti generici al dettaglio	4,0
Hall Multiuso	Categoria C2	Aree con posti a sedere fissi, per esempio, aree nelle chiese, teatri o cinema, sale per conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'attesa, sale d'attesa ferroviarie.	4,0
Cinema	Categoria C2	Aree con posti a sedere fissi, per esempio, aree nelle chiese, teatri o cinema, sale per conferenze, aule universitarie, aule magne, sale d'attesa, sale d'attesa ferroviarie.	4,0
Stoccaggio	Categoria E1	Aree per immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti.	7,5
Area di caricamento	Categoria G	Aree di traffico veicolare con $30\text{kN} < \text{Peso lordo dei veicoli} \leq 160\text{kN}$	5,0
Locali tecnici	Categoria E2	Categorie di immagazzinamento e impiego industriale	Secondo uso
Tetto piano	Categoria H	Coperture non accessibili se non per manutenzione ordinaria e riparazione	1,0

Prospetto 5.3 - Categorie di destinazione d'uso - 3.

FORMA E PRINCIPI PROGETTUALI

La costruzione della struttura inizia dalle fondazioni. L'aspetto principale di queste fondazioni è la presenza d'acqua nel suolo alla quota +1,0 mslm. Per questo è importante di usare dei metodi per tenere l'edificio al secco.

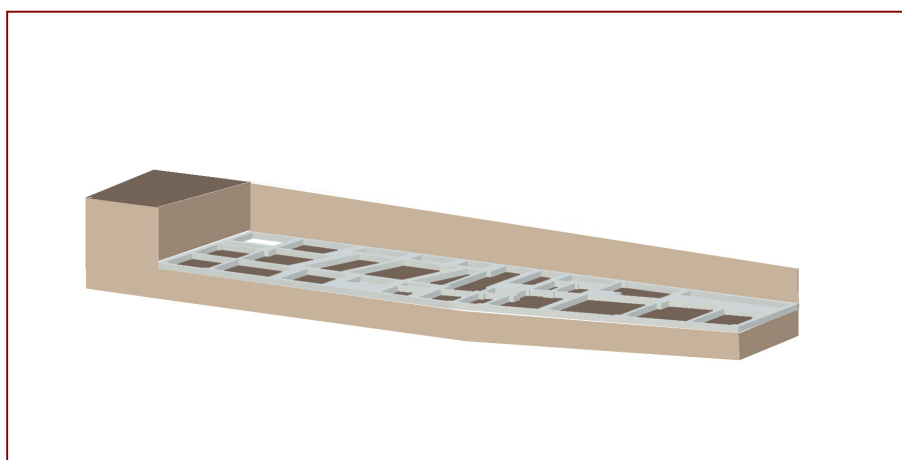


Figura 5.1 - 3D strutturale - Fondazioni.

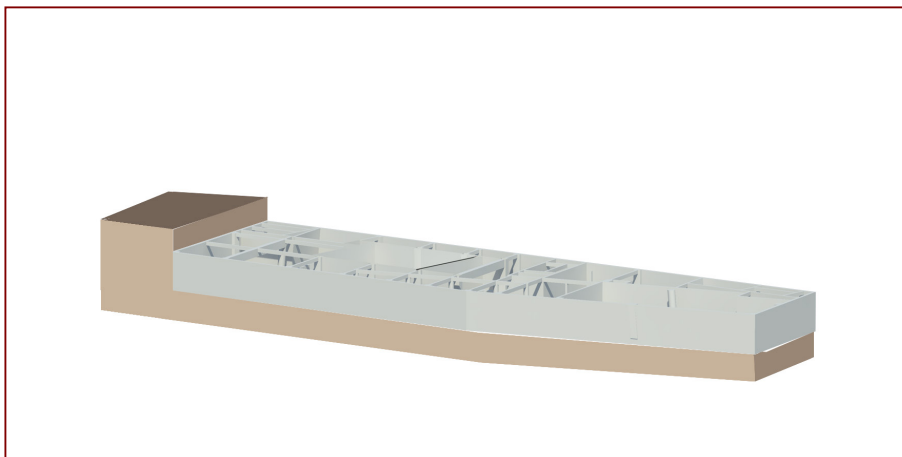


Figura 5.2 - 3D strutturale - Piano interrato.

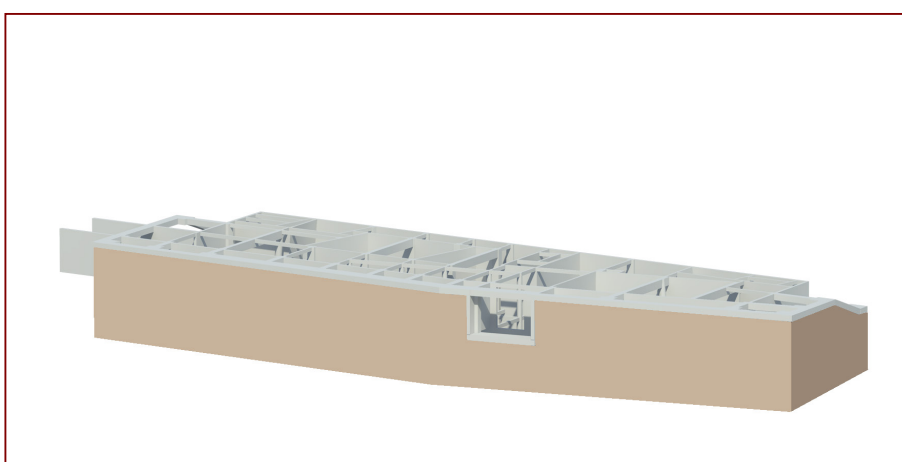


Figura 5.3 - 3D strutturale - Piano seminterrato.

Sopra le fondazioni, si costruisce la rete di portici e di travi. Questa struttura principale è creata con elementi in cemento armato precompresso. La struttura di calcestruzzo precompresso è indipendente tra le tre parti della biblioteca (le due collezioni e la torre d'incontro). La divisione in fasi durante il cantiere sarà dunque più facile.

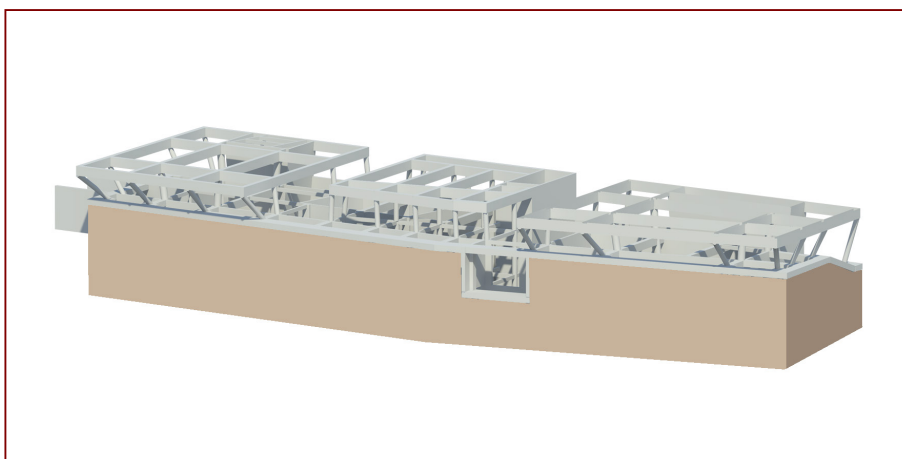


Figura 5.4 - 3D strutturale - Piano terra.

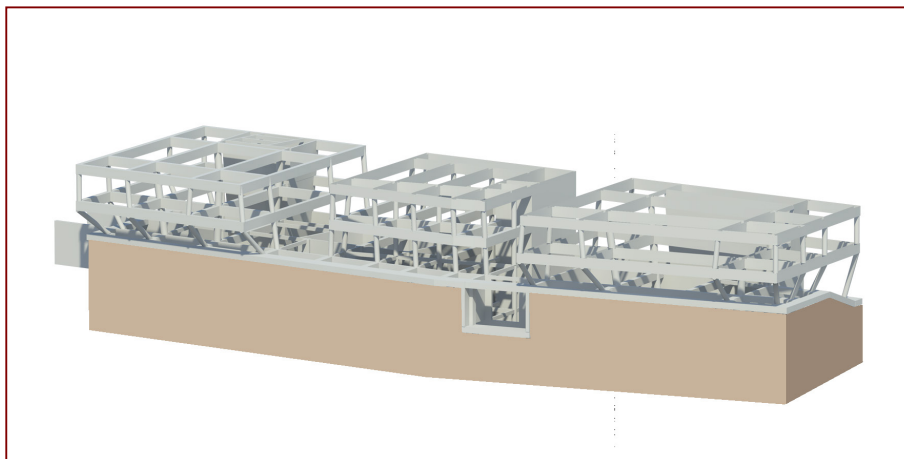


Figura 5.5 - 3D strutturale - Primo piano.

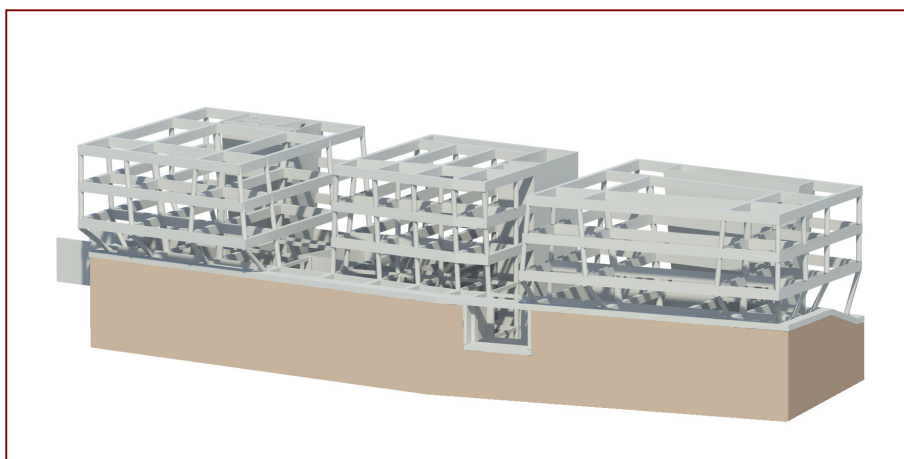


Figura 5.6 - 3D strutturale - Secondo piano.

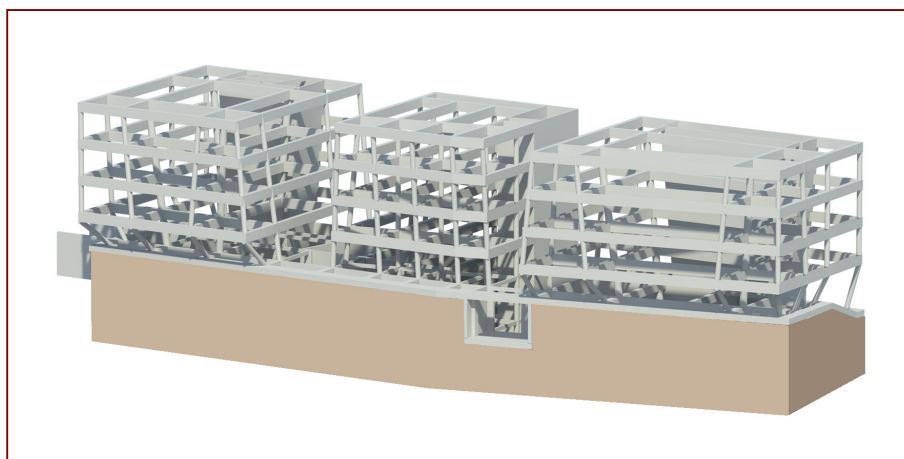


Figura 5.7 - 3D strutturale - Terzo piano.

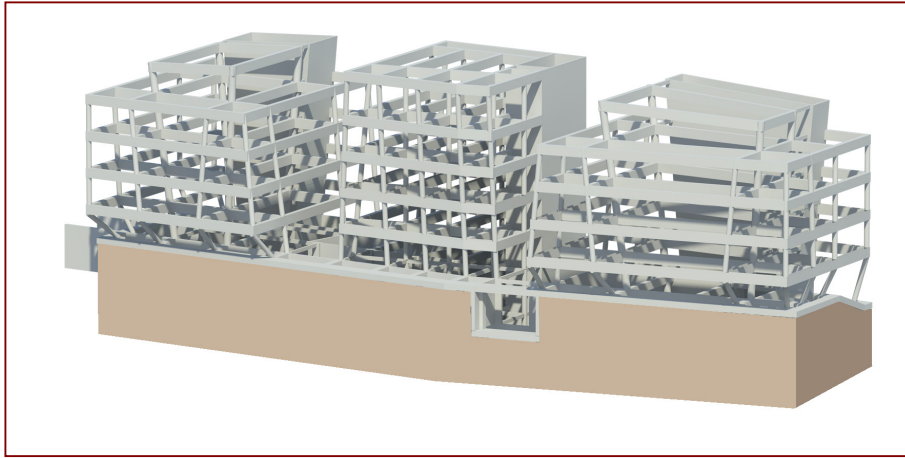


Figura 5.8 - 3D strutturale - Quarto piano.

Gli assi della struttura sono di tre tipi:

- Con un angolo dalla verticale $\alpha=5,7^\circ$ verso il nord
- Con un angolo dalla verticale $\alpha=5,7^\circ$ verso il sud
- Verticali

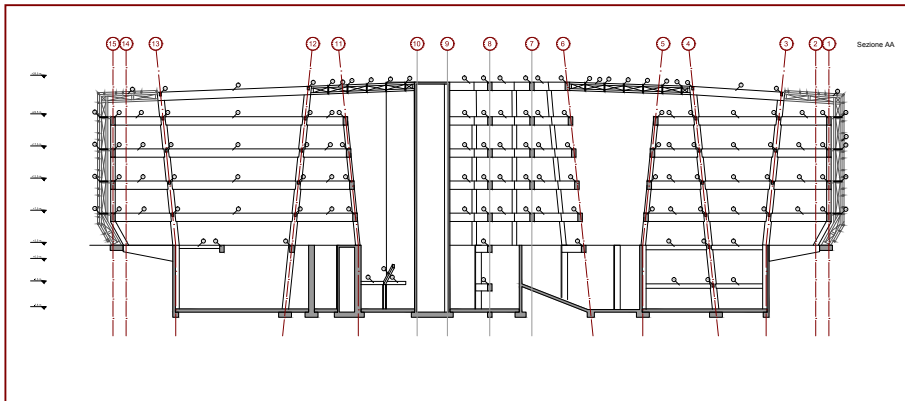


Figura 5.9 - Sezione longitudinale secondo l'asse strutturale C.

I solai della parte superiore saranno fatti con una struttura di legno lamellare collegata alla struttura in calcestruzzo precompresso con delle squadrette metalliche. Invece i solai dei piani sotterranei sono fatti in solette di calcestruzzo precompresso.

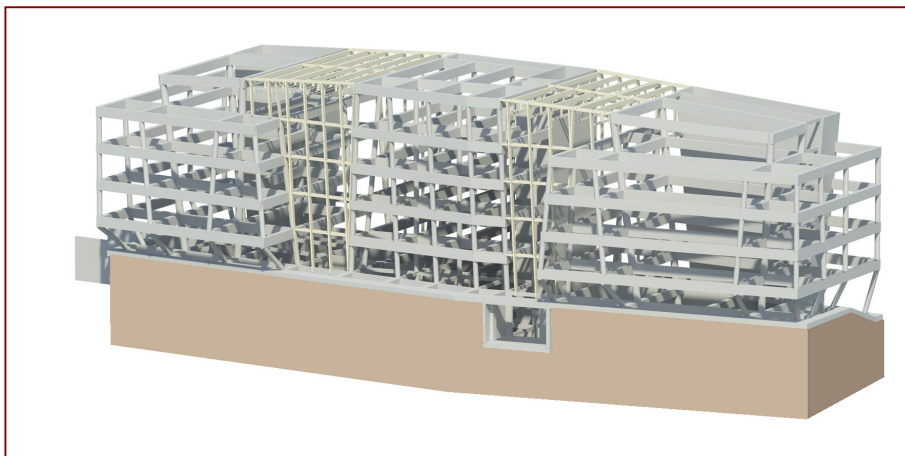


Figura 5.10 - 3D strutturale - Ricollegamento con struttura in legno.

Le 3 parte strutturale in Calcestruzzo precompresso sono collegate con una struttura in legno fra dei giunti strutturali per lasciare libero il movimento relativo delle strutture fra loro.

Le tre parte strutturale in calcestruzzo precompresso sono collegate con una struttura di legno fra dei giunti strutturali per lasciare libero il movimento relativo delle strutture.

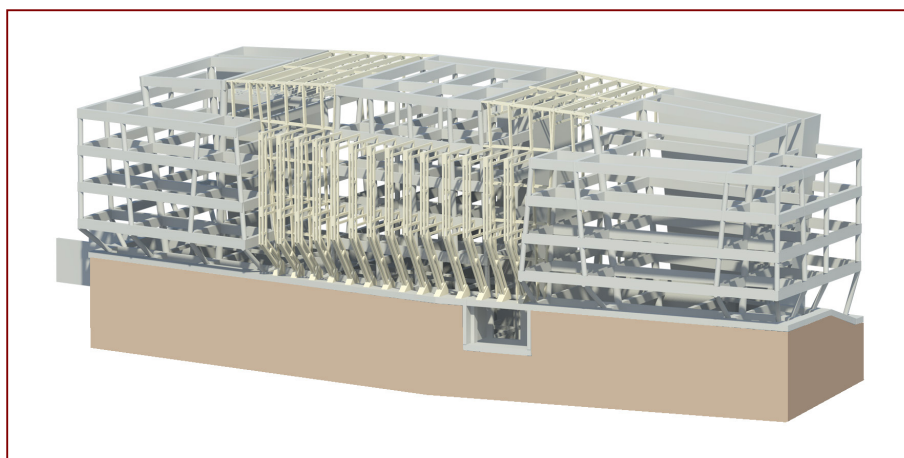


Figura 5.11 - 3D strutturale - Pilastrini in legno per le terrazze.

In più le terrazze presente sulla parte ovest dell'edificio sono costruite con una struttura con dei portici in legno che si deformano seguendo il movimento della pelle esterna.

Per la sovrastruttura, delle travi reticolari in legno lamellare sono appoggiate sulla struttura in calcestruzzo precompresso, queste travi sono previste con un interasse di circa 3m che corrisponde alla proiezione della maglia in losanga. Queste travi reticolari possono essere prefabbricate con dei rinforzi in acciaio.

La struttura in losanga per l'attacco del tetto è di due tipi. Prima la struttura della doppia pelle, che è attaccata alle travi reticolari e ai portici del tetto. L'altra è la struttura delle pergole o delle aperture nel tetto che è direttamente attaccata alla struttura di calcestruzzo armato.

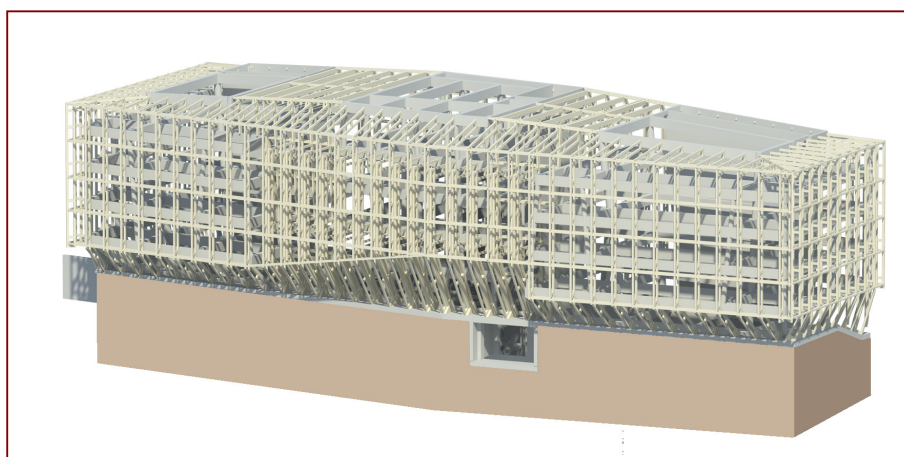


Figura 5.12 - 3D strutturale - Sotto struttura reticolare in legno.

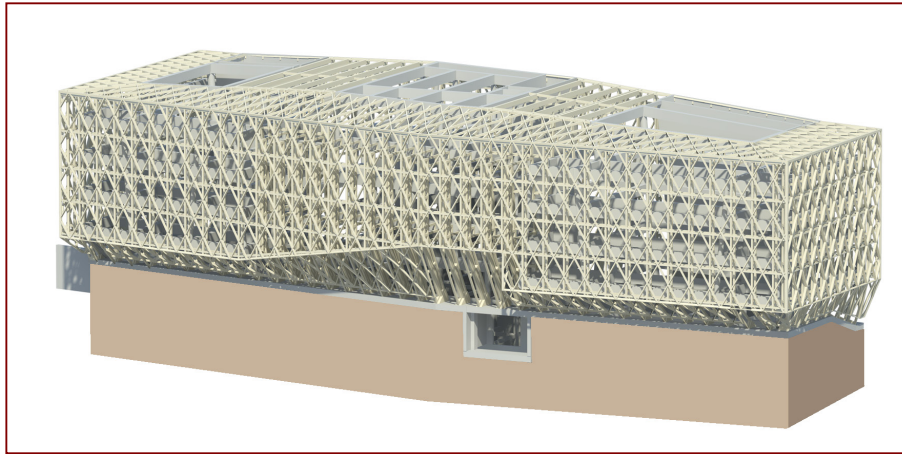


Figura 5.13 - 3D strutturale - Struttura in losanghe della facciata.

Le piante mostrano le modifiche dell'edificio secondo il piano (spostamento degli assi e modifiche di forma dei solai, cfr le tavole delle piante strutturali). Per il nostro studio strutturale, abbiamo fatto lo studio solo della parte strutturale della collezione nord. In particolare secondo la parte più al nord fra gli assi 1 e 3.

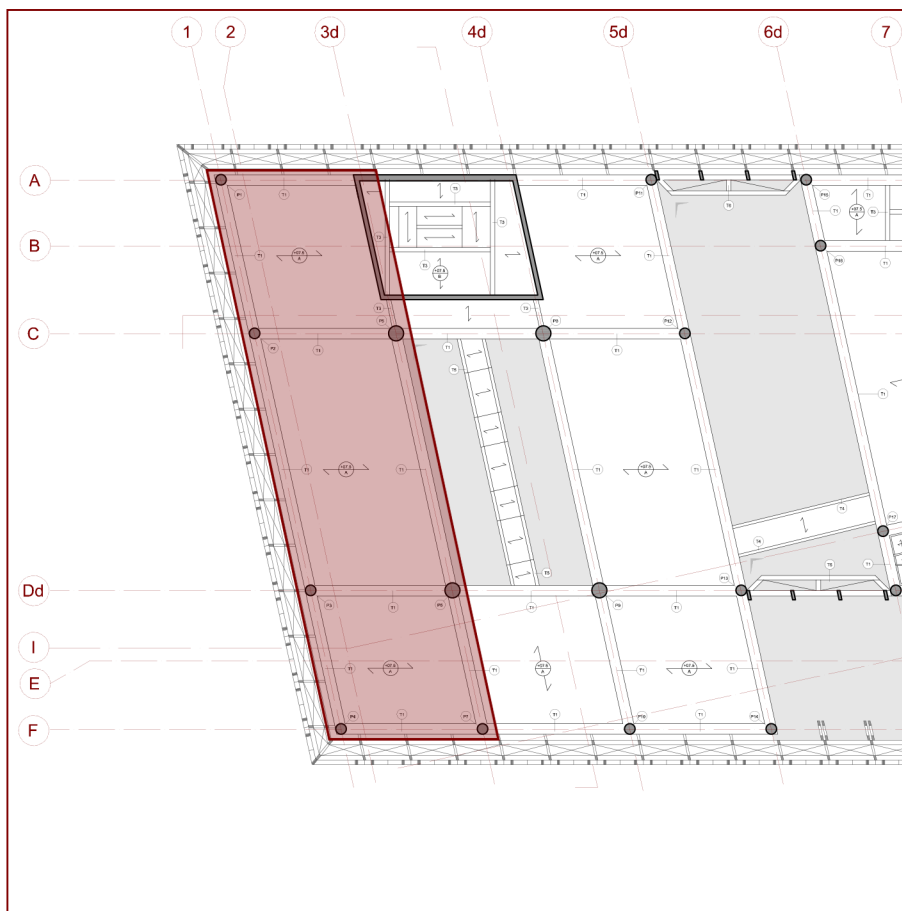


Figura 5.14 - Pianta strutturale posizione dell'area di lavoro - Primo piano.

AZIONI

Classificazione

Le combinazioni d'azioni sono classificate secondo l'Eurocodice 0

Ref. 5.6 - EN 1990:2002 - Section 4.1.1

- Azioni permanenti G, la cui durata di applicazione è continua ed uguale alla durata della vita utile del progetto

- Azioni variabili Q, con occorrenze discrete quasi puntuali, per esempio le sovraccarichi dovuto alla funzione d'uso, alla neve, al vento o alla temperatura.

Le azioni variabili possono avere tre valori diversi secondo la combinazione presa per i calcoli.

- Valore caratteristico:	Q_k
- Valore di combinazione:	$\psi_0 Q_k$
- Valore frequente:	$\psi_1 Q_k$
- Valore quasi permanente:	$\psi_2 Q_k$

- Azioni eccezionali A, difficilmente prevedibili e breve.

- Azioni di precompressione P prese con un coefficiente diverso se sono favorevole o sfavorevole.

Coefficienti parziali dei materiali

Questi coefficienti sono il rapporto tra il valore caratteristico e il valore di disegno dei materiali. Prendono in considerazione le deviazioni sfavorevoli dei materiali o dei valori caratteristici. I coefficienti cambiano con il tipo di situazione in cui sta il progetto al momento del calcolo. ^(5.5)

Ref. 5.7 - EN 1990:2002 – Equazione 6.3

Situazioni di progetto	Calcestruzzo	Acciaio da armatura ordinaria	Acciaio da armatura di precompressione	Legno lamellare incollato
	γ_c	γ_s	γ_s	γ_M
Persistenti e transitorie	1,50 ^(5,8)	1,15 ^(5,8)	1,15 ^(5,8)	1,25 ^(5,9)
Eccezionali	1,20 ^(5,8)	1,00 ^(5,8)	1,00 ^(5,8)	1,00 ^(5,9)

Prospetto 5.4 - Coefficienti parziali dei materiali.

Ref. 5.8 - UNI EN 1992:1-1:2005 – Prospetto 2.1N

Ref. 5.9 - UNI EN 1995-1-1 :2009 – Prospetto 2.3

Combinazioni di azioni

Le combinazioni di azioni possono essere di molti tipi in funzione del calcolo.

- Combinazione fondamentale per lo stato limite ultimo

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ref. 5.10 - EN 1990:2002 – 6.10

- Combinazione accidentale per lo stato limite ultimo

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P " + " A_d " + " (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ref. 5.11 - EN 1990:2002 – 6.11b

- Combinazione caratteristica per lo stato limite di servizio

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P " + " Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ref. 5.12 - EN 1990:2002 – 6.14b

- Combinazione frequente per lo stato limite di servizio

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P " + " \psi_{1,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ref. 5.13 - EN 1990:2002 – 6.15b

- Combinazione quasi permanente per lo stato limite di servizio

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} " + " P " + " \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ref. 5.14 - EN 1990:2002 – 6.16b

Per le combinazioni allo stato ultimo tre possibilità sono da prendere in conto:

- EQU: Perdita dell'equilibrio delle strutture
- STR: fallita interna del materiale o deformazioni eccessive delle strutture.
- FAT: fallita dei materiali dovute alla fatica della struttura.

Le combinazioni d'azione danno i valore dei coefficienti di calcolo per le azione secondo il prospetto seguente:

Design situazione	Azione permanente sfavorevole	Azione permanente favorevole	Principale carico variabile	Altri carichi variabili
EQU	1,10 ^(5,15)	0,90 ^(5,15)	1,50 ^(5,15)	1,50* ψ_0 ^(5,15)
STR	1,35 ^(5,16)	1,00 ^(5,16)	1,50* ψ_0 ^(5,16)	1,50* ψ_0 ^(5,16)

Prospetto 5.5 - Coefficienti di azioni per lo stato limite ultimo.

Ref. 5.15 - EN 1990:2002 – Table A1.2(A)

Ref. 5.16 - EN 1990:2002 – Table A1.2(B)

Design situazione	Azione permanente	Azione Accidentale	Principale carico variabile	Altri carichi variabili
Accidental	1,00	1,00	ψ_1 o ψ_2 ^(5,17)	ψ_2 ^(5,17)

Prospetto 5.6 - Coefficienti di azioni per lo stato limite ultimo con azione accidentale.

Ref. 5.17 - EN 1990:2002 – Table A1.3

Design situazione	Azione permanente sfavorevole	Azione permanente favorevole	Principale carico variabile	Altri carichi variabili
Caratteristiche	1,00 ^(5,18)	1,00 ^(5,18)	1,00 ^(5,18)	1,00* ψ_0 ^(5,18)
Frequente	1,00 ^(5,18)	1,00 ^(5,18)	1,00* ψ_1 ^(5,18)	1,00* ψ_2 ^(5,18)
Quasi permanente	1,00 ^(5,18)	1,00 ^(5,18)	1,00* ψ_2 ^(5,18)	1,00* ψ_2 ^(5,18)

Prospetto 5.7 - Coefficienti di azioni per lo stato limite di esercizio.

Ref. 5.18 - EN 1990:2002 – Table A1.4

Per le combinazione d'azione, le cariche variabile non possono essere simultanee, per prendere in conto questo dobbiamo usare dei fattori ψ .

Tipo di azione	Sotto categoria	$\psi_0^{(5,19)}$	$\psi_1^{(5,19)}$	$\psi_2^{(5,19)}$
Sovraccarico negli edifici	Categoria B	0,70	0,50	0,30
	Categoria C	0,70	0,70	0,60
	Categoria D	0,70	0,70	0,60
	Categoria E	1,00	0,90	0,80
	Categoria G	0,70	0,50	0,30
	Categoria H	0,00	0,00	0,00
Carico della neve sul edificio	Finland	0,70	0,50	0,20
Carico del vento sul edificio	-	0,60	0,20	0,00
Carico delle temperature sul edificio	-	0,60	0,50	0,00

Prospetto 5.8 - Coefficienti ψ per le azioni variabili.

Ref. 5.19 - EN 1990:2002 – A1.1

Calcolo variabile di neve

Helsinki si situa nella regione climatica europea chiamata "Svezia, Finlandia". Questa regione è divisa in zone per calcolare il carico di neve al livello del mare.

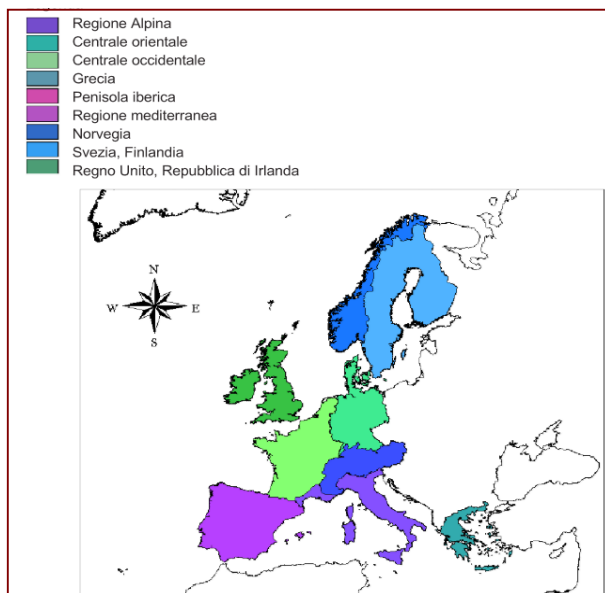


Figura 5.15 - Regioni climatiche europee (5.20)

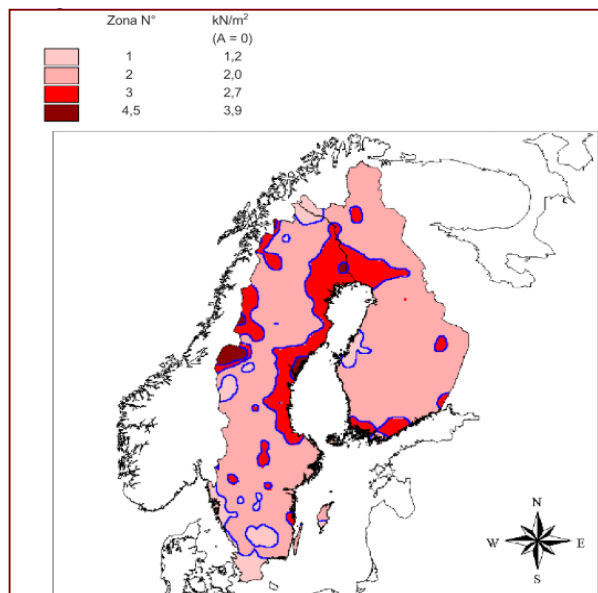


Figura 5.16 - Zone di carico di neve nella regione Svezia, Finlandia (5.21)

Ref. 5.20 - UNI EN 1991-1-3:2004 – Figure C1

Ref. 5.21 - UNI EN 1991-1-3:2004 – Figure C8

Nome	Notazione	Valore	Unità
Altitudine del progetto sul livello del mare	a_s	3,00	m
Sovraccarico di neve caratteristico	s_k	2,00	kN/m ²
Inclinazione del tetto	α	< 5°	deg
Coefficiente di forma del tetto (5.22)	μ_1	0,8	-
Coefficiente di esposizione (5.23)	C_e	1	-
Coefficiente Termico (5.24)	C_t	1	-
Sovraccarico di neve di calcolo	s_k	1,60	kN/m²

Prospetto 5.9 - Calcoli di sovraccarico di neve.

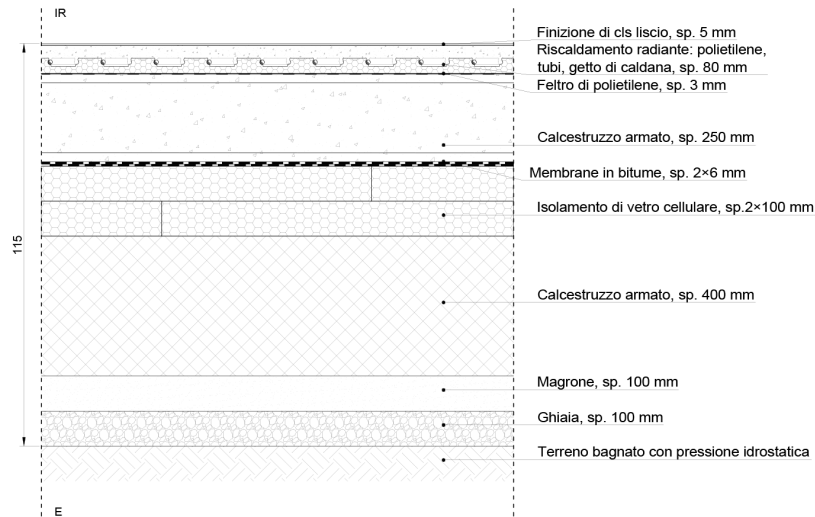
Ref. 5.22 - UNI EN 1991-1-3:2004 – Prospetto 5.2

Ref. 5.23 - UNI EN 1991-1-3:2004 – Prospetto 5.1

CALCOLO DEI PESI PROPRI

Elenco Elemento	Descrizione della chiusura	Peso superficiale (kN/m ²)
CO.	Chiusure Orizzontale	
CO1	Solaio contro terra	20,881
CO2	Solaio su spazio aperto	2,378
CO3	Solaio su spazio aperto per terrazze	1,857
CO4	Tetto piano calpestabile	2,716
CO5	Tetto piano non calpestabile	3,172
CO6	Copertura di vetro	0,548
CV.	Chiusure Verticale	
CV1	Parete perimetrale di vetro	0,413
CV2	Parete perimetrale di vetro su spazio non riscaldato	0,183
CV3	Parete perimetrale	0,763
CV4	Parete perimetrale strutturale	7,948
CV5	Parete primetrale strutturale con vano per impianti	8,600
CV6	Parete perimetrale contro terra sotto livello +2,0mslm	19,066
CV7	Parete perimetrale contro terra sopra livello +2,0mslm	8,066
PO.	Parete orizzontali	
PO1	Solaio di interpiano con impianti	2,540
PO2	Solaio di interpiano con isolamento acustico	2,592
PO3	Solaio di interpiano in cls alveolare	5,158
PO4	Solaio di interpiano nei servizi	7,030
PO5	Passerella	1,253
PO6	Solaio di terrazza	1,757
PO7	Vano scala in legno	1,212
PO8	Vano scala di sicurezza	6,574
PV.	Parete verticali	
PV1	Parete di vetro di separazione maggiore	0,313
PV2	Parete di vetro di separazione minore	0,285
PV3	Parete interna con isolamento acustico	0,768
PV4	Parete antincendio	3,870
PV5	Parete interna con vano per impianti	1,387
PV6	Parete con protezione contro l'umidità	1,086
PV7	Parete interna strutturale antincendio	7,620
PV8	Parete interna strutturale con protezione contro l'umidità	8,219

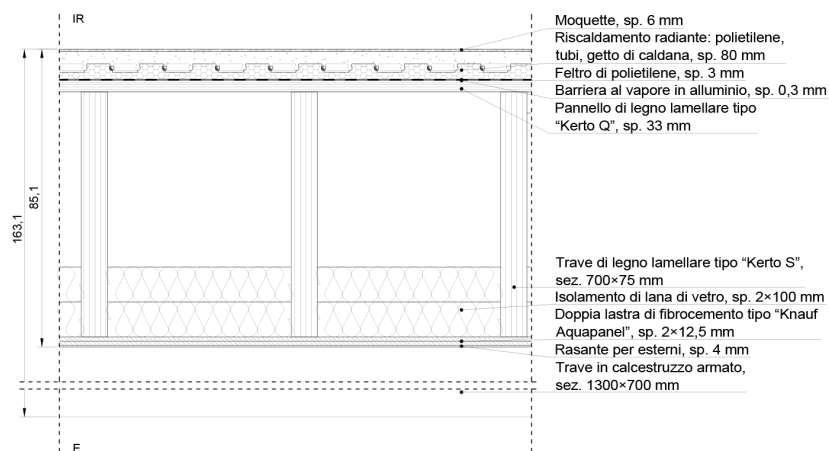
Prospetto 5.10 - Sintesi dei pesi superficiali per tutte le pareti e le chiusure.



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,005	2000	0,100
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Membrana bituminosa	0,012	1100	0,132
Isolante di vetro cellulare	0,200	115	0,230
Magrone	0,100	1200	1,200
Ghiaia	0,100	1700	1,700
Totale peso proprio non strutturale			4,631

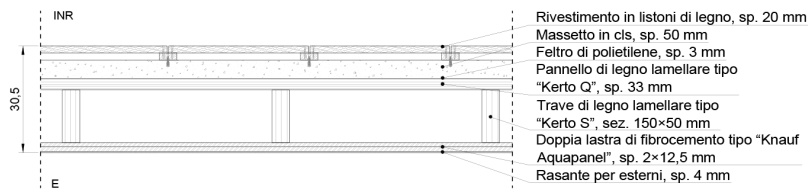
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,250	-	2500	6,250
Trave di legno lamellare di rigidezza	0,400	-	2500	10,000
Totale peso proprio strutturale				16,250
Peso superficiale della chiusura				20,881

Solaio su spazio aperto - CO2



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Moquette	0,006	200	0,012
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Barriera al vapore	0,000	403	0,001
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,500		
Isolante di lana di vetro	0,200	27	0,054
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0,025	1150	0,288
Finitura esterna	0,004	1800	0,072
Totale peso proprio non strutturale			1,864

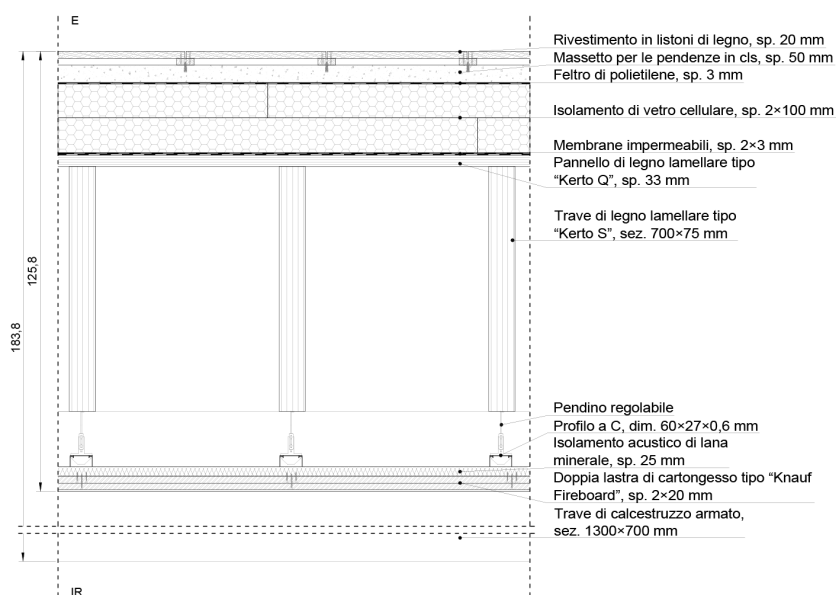
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,700	0,60	510	0,446
Trave di legno lamellare di rigidità	0,700	4,00	510	0,067
Totale peso proprio strutturale				0,513
Peso superficiale della chiusura				2,378



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0,020	500	0,100
Camera d'aria	0,020		
Cls ordinario poco armato	0,050	2300	1,150
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,150		
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0,025	1150	0,288
Finitura esterna	0,004	1800	0,072
Totale peso proprio non strutturale			1,783

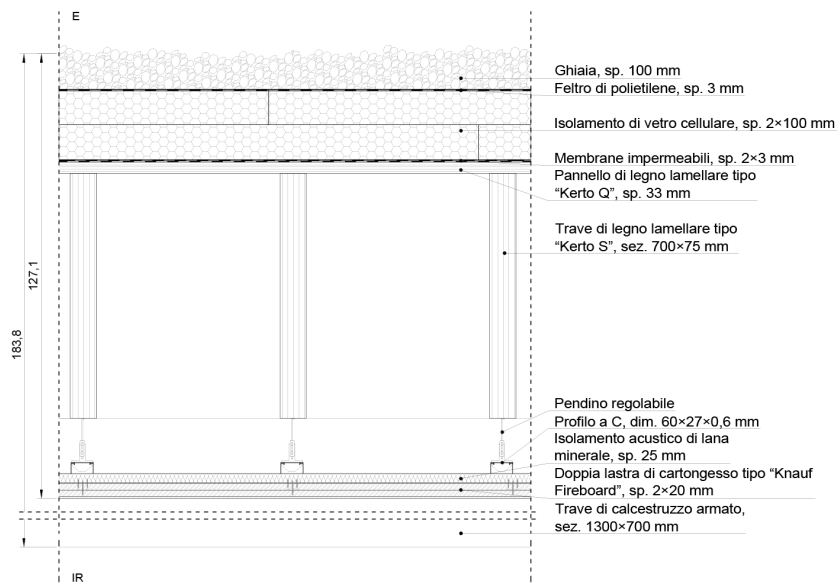
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,150	0,60	510	0,064
Trave di legno lamellare di rigidità	0,150	4,00	510	0,010
Totale peso proprio strutturale				0,073
Peso superficiale della chiusura				1,857

Tetto piano calpestabile - CO4



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Rasante resistente al fuoco	0,004	1500	0,060
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0,040	1050	0,420
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Camera d'aria	0,860		
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Membrana bituminosa	0,006	1100	0,066
Isolante di vetro cellulare	0,200	115	0,230
Cls ordinario poco armato	0,050	2300	1,150
Camera d'aria	0,020		
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0,020	500	0,100
Totale peso proprio non strutturale			2,203

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,700	0,60	510	0,446
Trave di legno lamellare di rigidità	0,700	4,00	510	0,067
Totale peso proprio strutturale				0,513
Peso superficiale della chiusura				2,716



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Rasante resistente al fuoco	0,004	1500	0,060
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0,040	1050	0,420
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Camera d'aria	0,860		
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Membrana bituminosa	0,006	1100	0,066
Isolante di vetro cellulare	0,200	115	0,230
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Ghiaia	0,100	1700	1,700
Totale peso proprio non strutturale			2,658

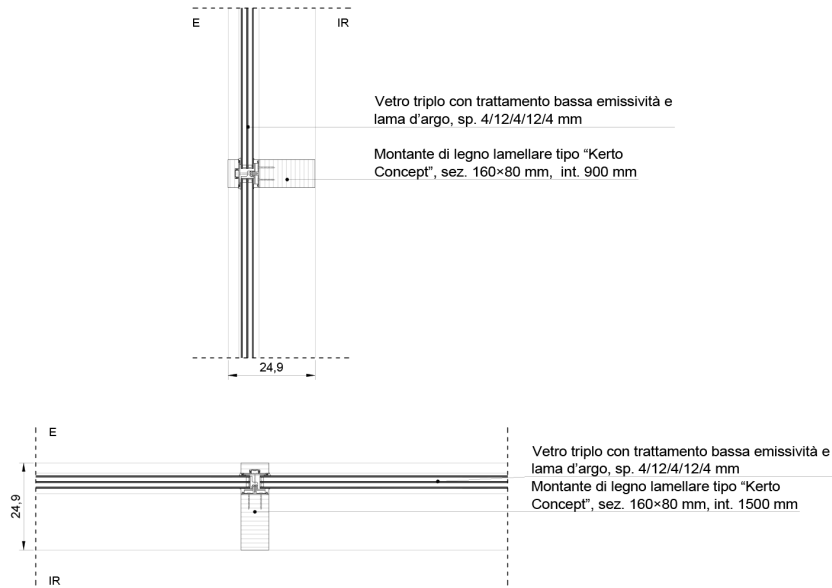
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,700	0,60	510	0,446
Trave di legno lamellare di rigidità	0,700	4,00	510	0,067
Totale peso proprio strutturale				0,513
Peso superficiale della chiusura				3,172

Copertura di vetro - CO6



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Lama di vetro	0,010	2500	0,250
Camera d'argo	0,012		
Lama di vetro	0,010	2500	0,250
Totale peso propio non strutturale			0,500

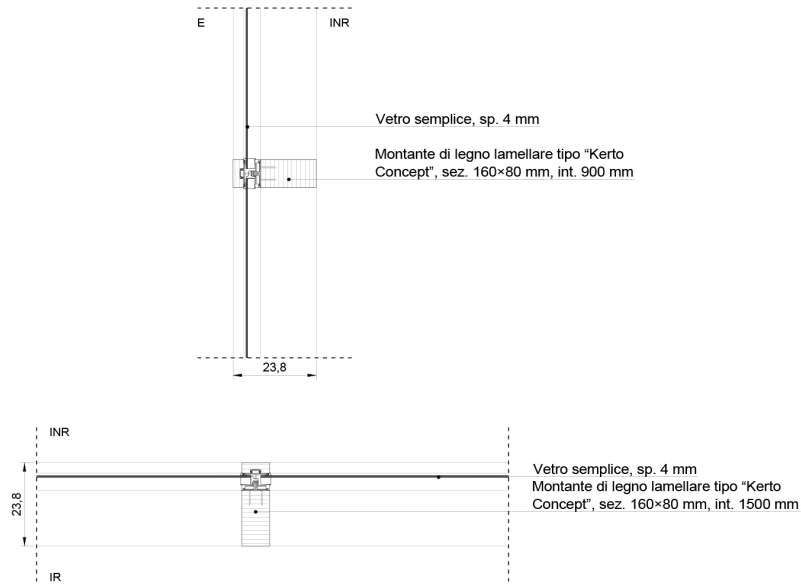
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Montanti di alluminio principali	0,170	1,50	2700	0,017
Montanti di alluminio secondari	0,170	0,85	2700	0,030
Totale peso propio strutturale				0,048
Peso superficiale della chiusura				0,548



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Camera d'argento	0,012		0,000
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Camera d'argento	0,012		0,000
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Totale peso proprio non strutturale			0,300

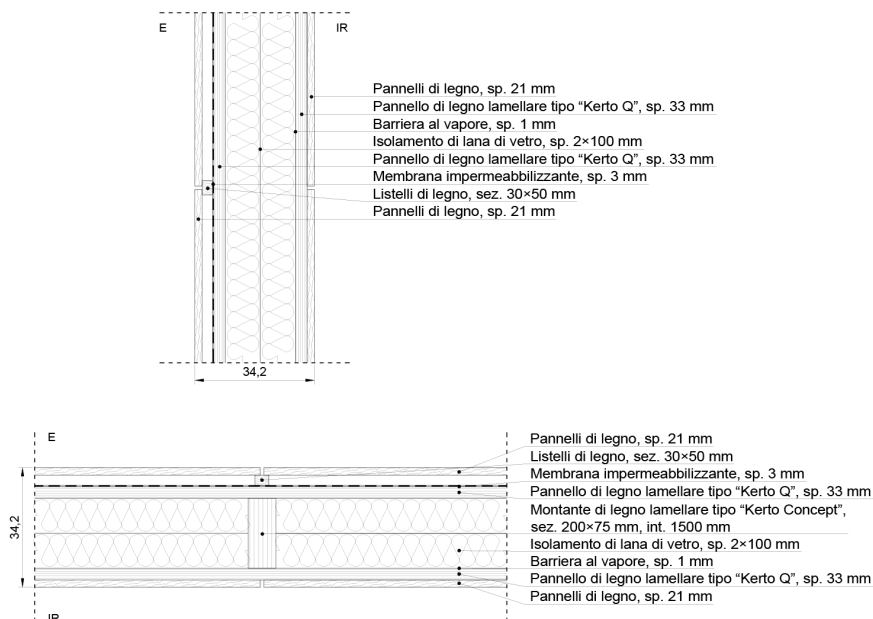
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,160	1,50	510	0,041
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,160	0,85	510	0,072
Totale peso proprio strutturale				0,113
Peso superficiale della chiusura				0,413

Parete perimetrale di vetro su spazio non riscaldato - CV2



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Totale peso proprio non strutturale			0,100

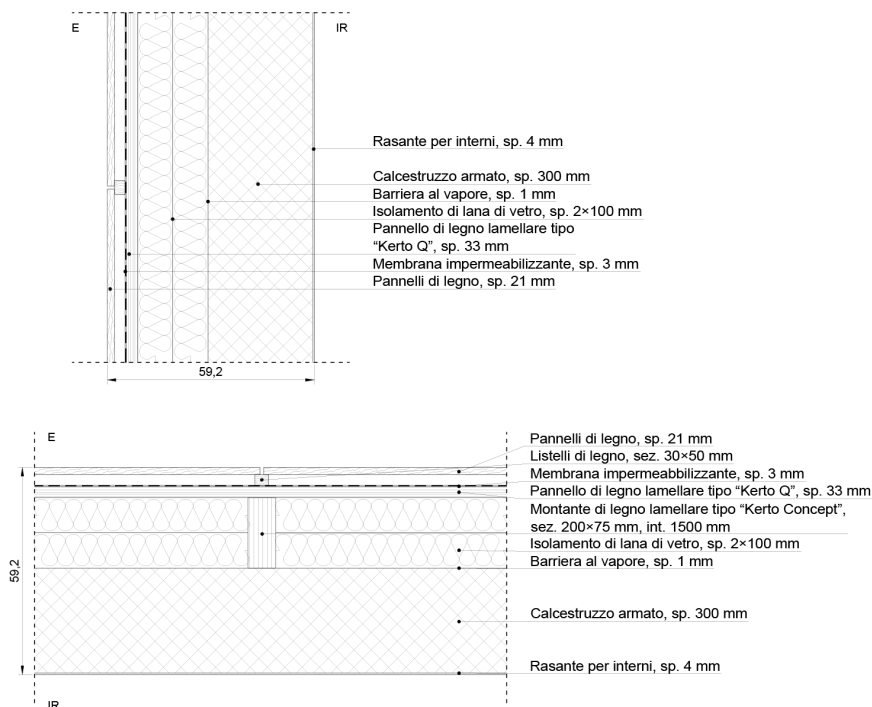
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,160	1,47	510	0,042
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,160	1,47	510	0,042
Totale peso proprio strutturale				0,083
Peso superficiale della chiusura				0,183



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Pannello di legno compensato di finitura interna	0,021	500	0,105
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Barriera totale al vapore in alluminio	0,001	2700	0,032
Isolante di lana di vetro	0,200	27	0,054
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Guaina impermeabilizzante	0,003	933	0,028
Camera d'aria	0,030		
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0,021	500	0,105
Totale peso proprio non strutturale			0,661

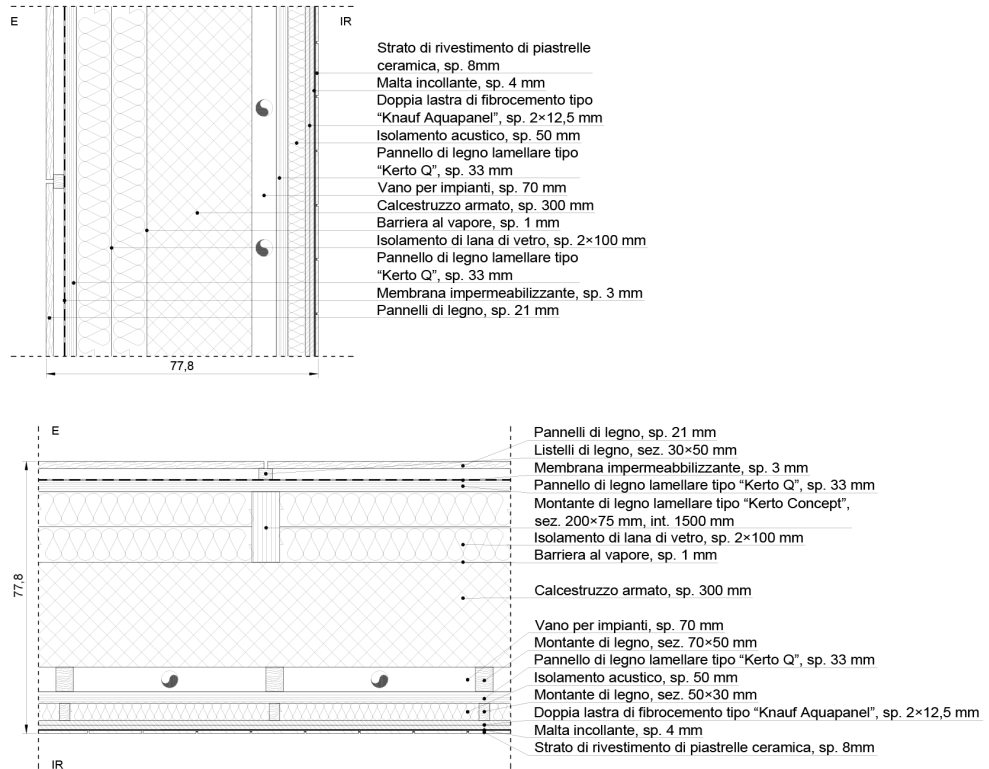
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,200	1,50	510	0,051
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,200	1,50	510	0,051
Totale peso proprio strutturale				0,102
Peso superficiale della chiusura				0,763

Parete perimetrale strutturale - CV4



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Barriera totale al vapore in alluminio	0,001	2700	0,032
Isolante di lana di vetro	0,200	27	0,054
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Guaina impermeabilizzante	0,003	933	0,028
Camera d'aria	0,030		
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0,021	500	0,105
Totale peso proprio non strutturale			0,448

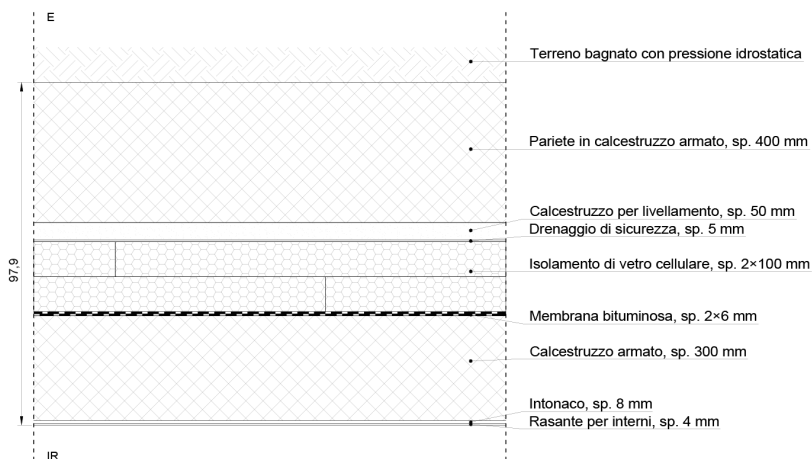
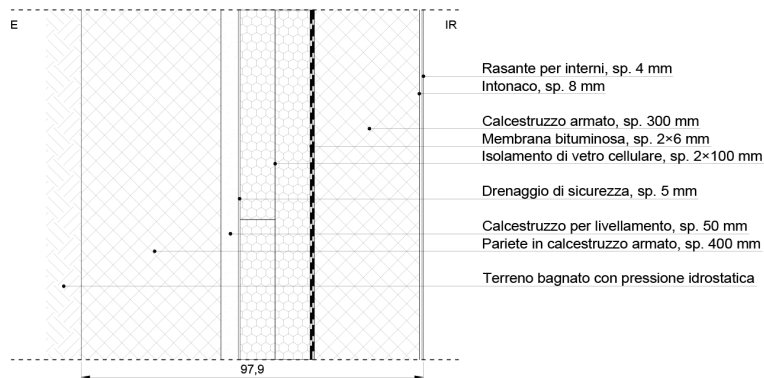
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Totale peso proprio strutturale				7,500
Peso superficiale della chiusura				7,948



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Malta cementizia	0,004	2000	0,080
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,050	35	0,018
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,070		
Barriera totale al vapore in alluminio	0,001	2700	0,032
Isolante di lana di vetro	0,200	27	0,054
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Guaina impermeabilizzante	0,003	933	0,028
Camera d'aria	0,030		
Pannello di legno compensato di finitura esterna	0,021	500	0,105
Totale peso proprio non strutturale			1,100

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Totale peso proprio strutturale				7,500
Peso superficiale della chiusura				8,600

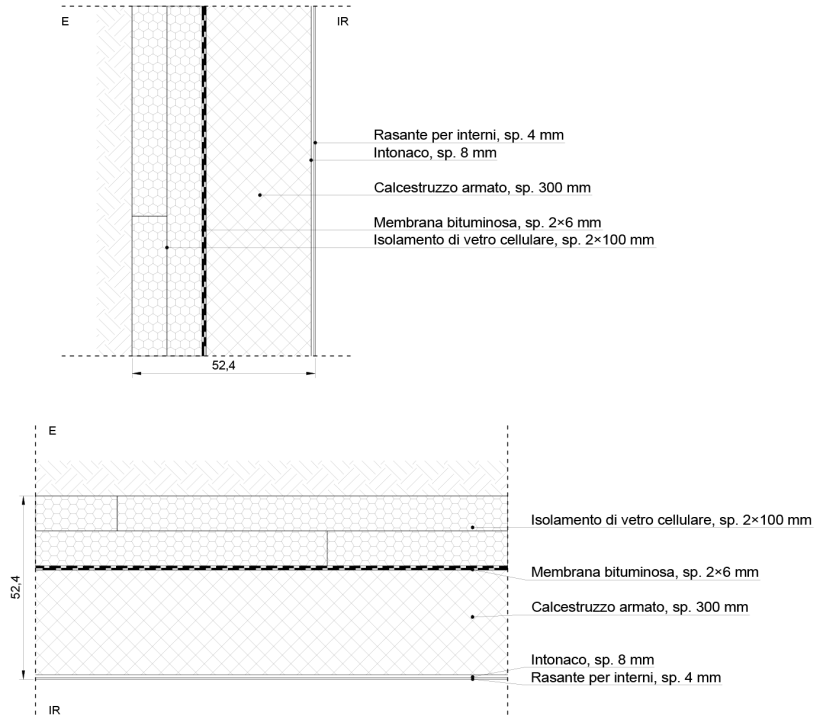
Parete contro terra sotto il livello +3.0 mslm - CV6



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Intonaco calce e gesso	0,008	1800	0,144
Membrana bituminosa	0,012	1100	0,132
Isolante di vetro cellulare	0,200	115	0,230
Camera d'aria	0,005		
Malta cementizia	0,050	2000	1,000
Totale peso proprio non strutturale			1,566

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Calcestruzzo armato idrofugo	0,400	-	2500	10,000
Totale peso proprio strutturale				17,500
Peso superficiale della chiusura				19,066

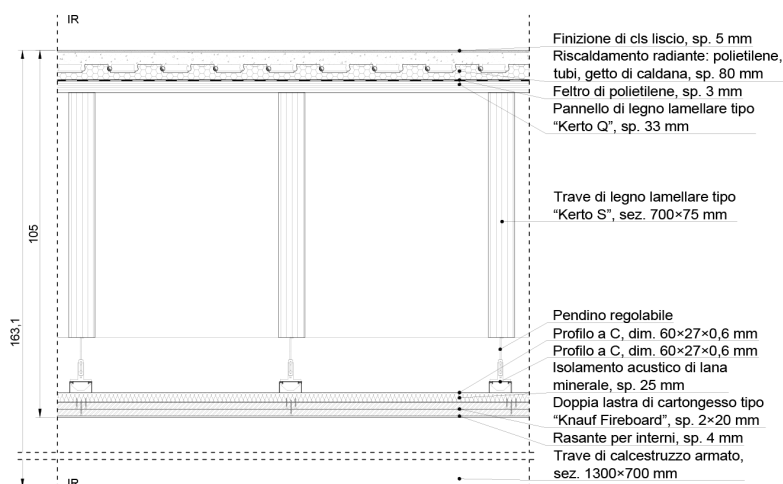
Parete contro terra sopra il livello +3.0mslm - CV7



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Intonaco calce e gesso	0,008	1800	0,144
Membrana bituminosa	0,012	1100	0,132
Isolante di vetro cellulare	0,200	115	0,230
Totale peso proprio non strutturale			0,566

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Totale peso proprio strutturale				7,500
Peso superficiale della chiusura				8,066

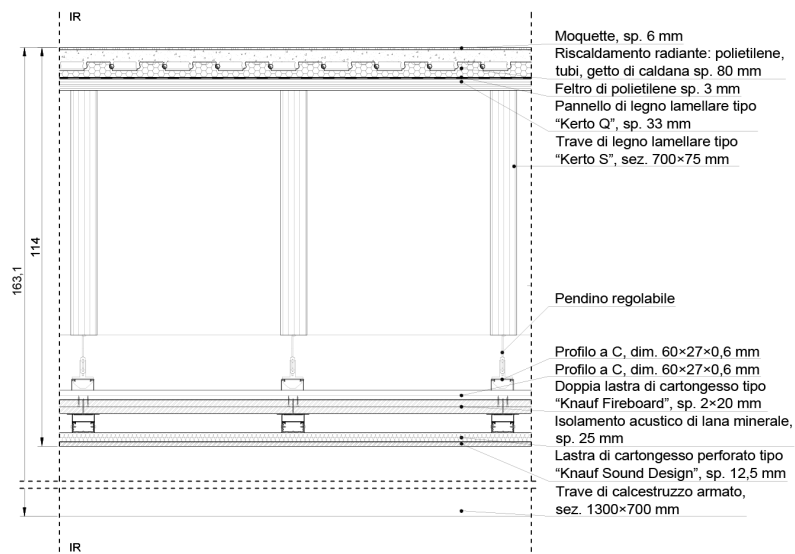
Solaio di interpiano con impianti - PO1



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,005	2000	0,100
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,860		
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0,040	1050	0,420
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			2,026

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,700	0,60	510	0,446
Trave di legno lamellare di rigidezza	0,700	4,00	510	0,067
Totale peso proprio strutturale				0,513
Peso superficiale della chiusura				2,540

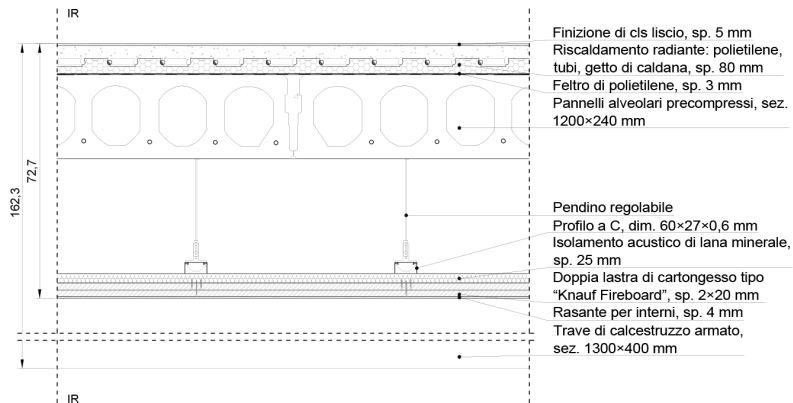
Solaio di interpiano con isolamento acustico - PO2



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,005	2000	0,100
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,860		
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0,040	1050	0,420
Camera d'aria	0,080		
Lastra di gesso fonoassorbante	0,013	900	0,113
Totale peso proprio non strutturale			2,079

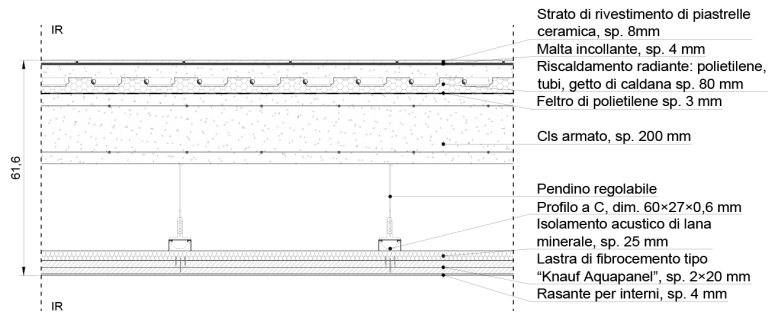
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,700	0,60	510	0,446
Trave di legno lamellare di rigidità	0,700	4,00	510	0,067
Totale peso proprio strutturale				0,513
Peso superficiale della chiusura				2,592

Solaio di interpiano in cls alveolare - PO3



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,005	2000	0,100
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Filtro di polietilene	0,003	180	0,005
Camera d'aria	0,330		
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Lastra di gesso Knauf Fireboard	0,040	1050	0,420
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			1,858

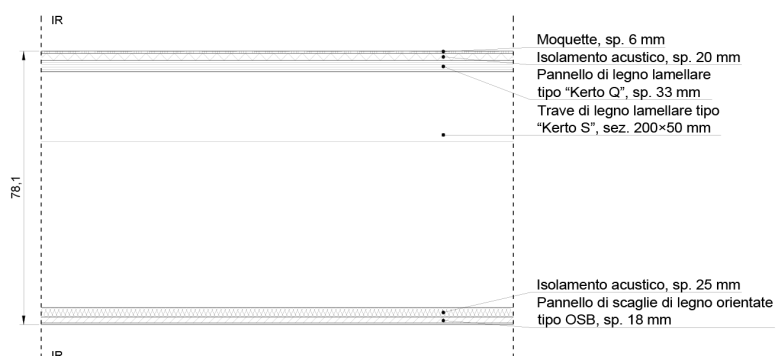
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Lastre ca precompresso	0,240	-	1375	3,300
Totale peso proprio strutturale				3,300
Peso superficiale della chiusura				5,158



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Malta cementizia	0,004	2000	0,080
Riscaldamento radiante	0,080	1580	1,264
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Camera d'aria	0,250		
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,040	1050	0,420
Rasante resistente all'acqua	0,004	1700	0,068
Totale peso proprio non strutturale			2,030

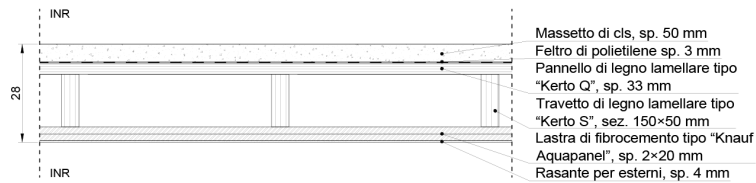
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,200	-	2500	5,000
Totale peso proprio strutturale				5,000
Peso superficiale della chiusura				7,030

Passerella - PO5



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Moquette	0,006	200	0,012
Isolante termico rigido lordo di fibre di legno	0,020	160	0,032
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,675		
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,025	35	0,009
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			0,396

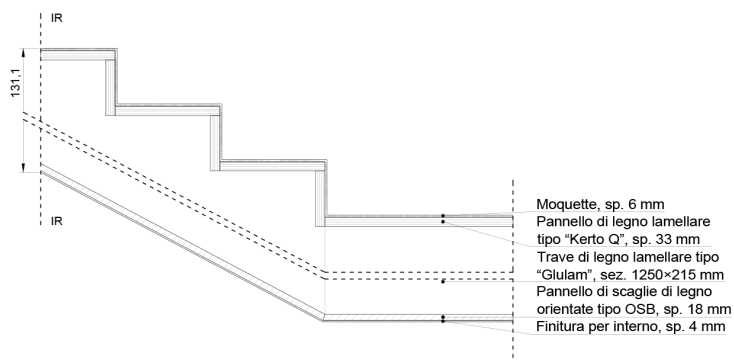
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	1,250	1,60	510	0,857
Totale peso proprio strutturale				0,857
Peso superficiale della chiusura				1,253



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,050	2000	1,000
Feltro di polietilene	0,003	180	0,005
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	0,150		
Lastra di cemento Knauf Aquapanel outdoor	0,040	1150	0,460
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			1,694

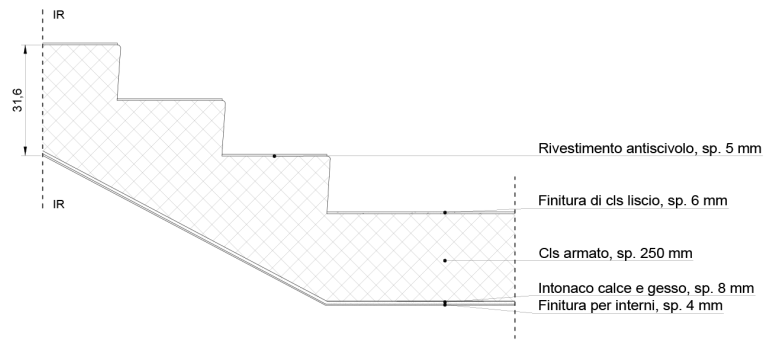
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	0,150	0,60	510	0,064
Totale peso proprio strutturale				0,064
Peso superficiale della chiusura				1,757

Vano scala in legno - PO7



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Moquette	0,006	200	0,012
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Camera d'aria	1,250		
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Finitura interna	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			0,356

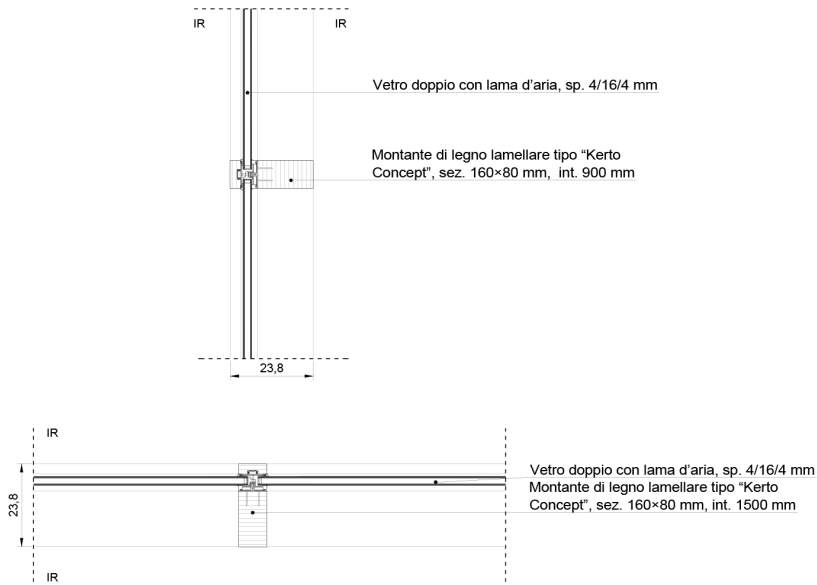
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Trave di legno lamellare portante	1,250	1,60	510	0,857
Totale peso proprio strutturale				0,857
Peso superficiale della chiusura				1,212



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Malta cementizia	0,006	2000	0,120
Intonaco calce e gesso	0,008	1800	0,144
Finitura interna	0,004	1500	0,060
Totale peso propio non strutturale			0,324

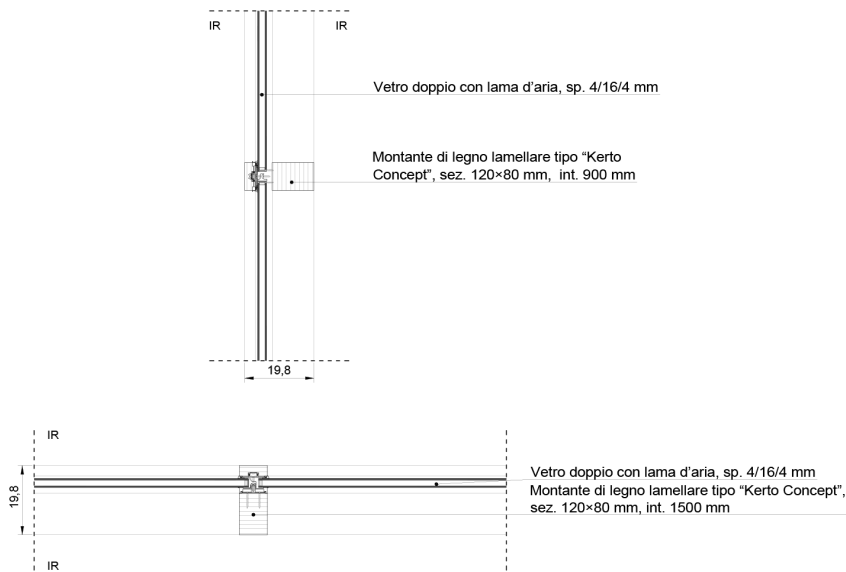
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Cls armato	0,250	-	2500	6,250
Totale peso propio strutturale				6,250
Peso superficiale della chiusura				6,574

Parete di vetro maggiore - PV1



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Camera d'argo	0,012		
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Totale peso proprio non strutturale			0,200

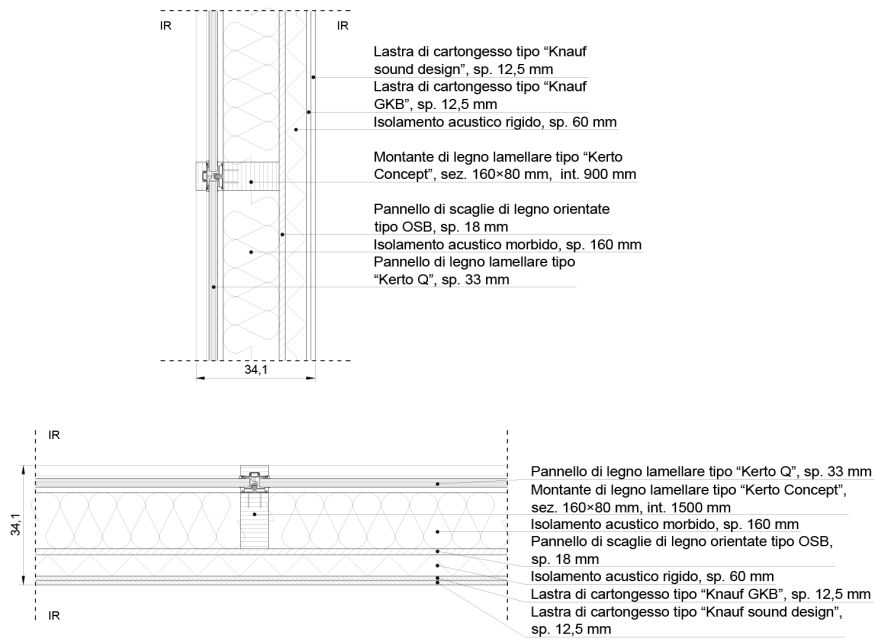
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,160	1,50	510	0,041
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,160	0,85	510	0,072
Totale peso proprio strutturale				0,113
Peso superficiale della chiusura				0,313



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Camera d'argo	0,012		
Lama di vetro	0,004	2500	0,100
Totale peso proprio non strutturale			0,200

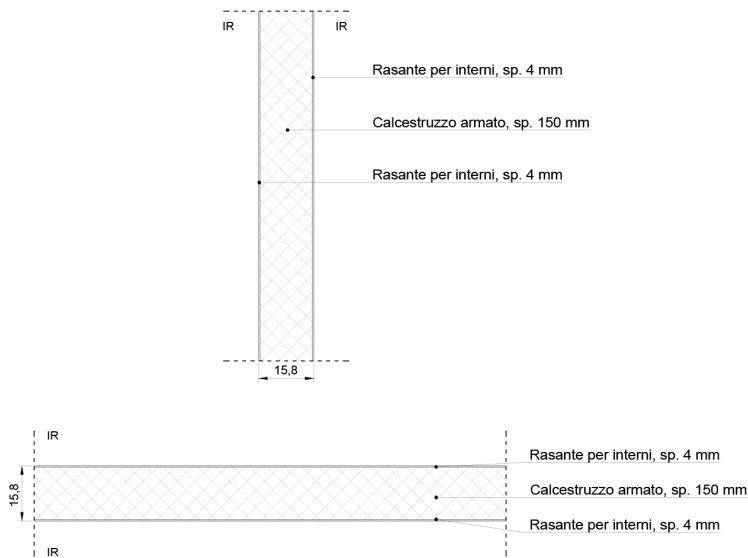
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,120	1,50	510	0,031
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,120	0,85	510	0,054
Totale peso proprio strutturale				0,085
Peso superficiale della chiusura				0,285

Parete interna con isolamento acustico - PV3



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Lastra di gesso fonoassorbante	0,013	900	0,113
Lastra di gesso Knauf GKB	0,013	900	0,113
Isolante termico rigido lordo di fibre di legno	0,060	160	0,096
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,160	35	0,056
Pannello di legno lamellare	0,033	510	0,168
Totale peso proprio non strutturale			0,661

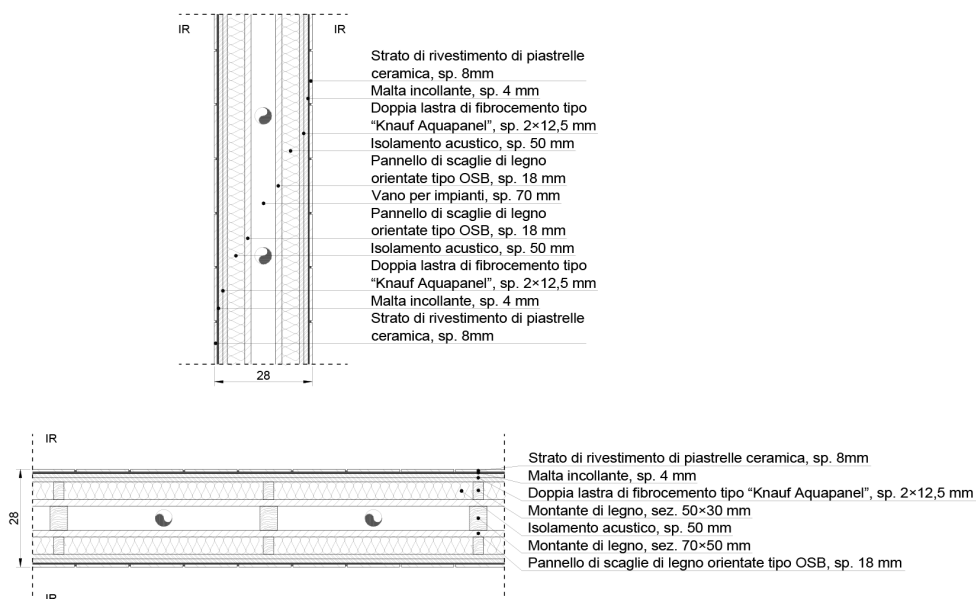
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Montanti in legno lamellare verticali	0,160	1,50	510	0,041
Montanti in legno lamellare orizzontali	0,160	0,90	510	0,068
Totale peso proprio strutturale				0,109
Peso superficiale della chiusura				0,769



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Rasante resistente al fuoco	0,004	1500	0,060
Rasante resistente al fuoco	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			0,120

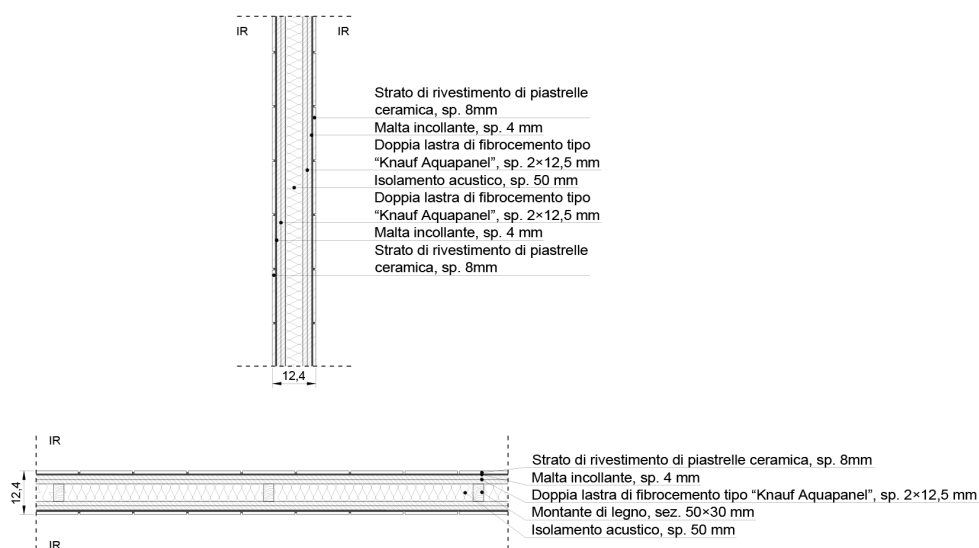
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Cls armato	0,150	-	2500	3,750
Totale peso proprio strutturale				3,750
Peso superficiale della chiusura				3,870

Parete interna con vano impianti - PV5



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Malta cementezia	0,004	2000	0,080
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,050	35	0,018
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Camera d'aria	0,070		
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,050	35	0,018
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Malta cementezia	0,004	2000	0,080
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Totale peso proprio non strutturale			1,318

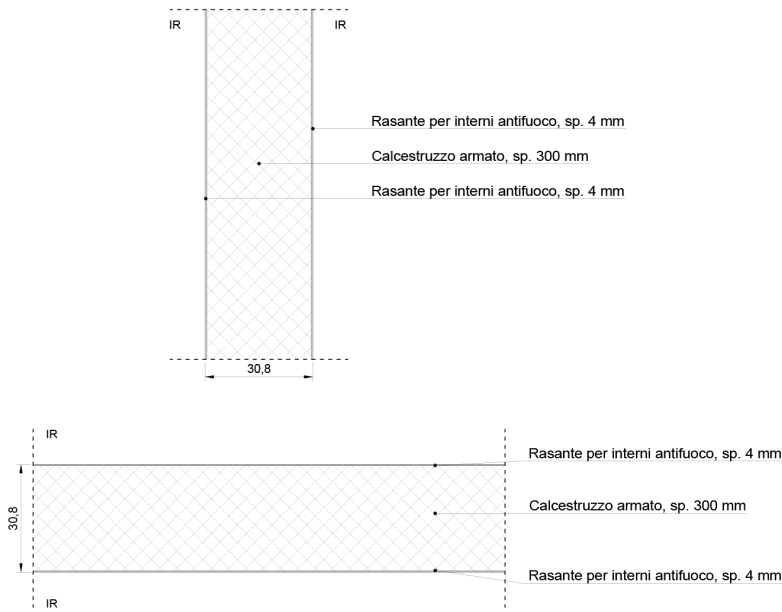
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Rete di montanti in legno massiccio	0,050	0,60	490	0,016
Rete di montanti in legno massiccio	0,070	0,60	490	0,037
Rete di montanti in legno massiccio	0,050	0,60	490	0,016
Totale peso proprio strutturale				0,069
Peso superficiale della chiusura				1,387



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Malta cementizia	0,004	2000	0,080
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,050	35	0,018
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Malta cementizia	0,004	2000	0,080
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Totale peso proprio non strutturale			1,071

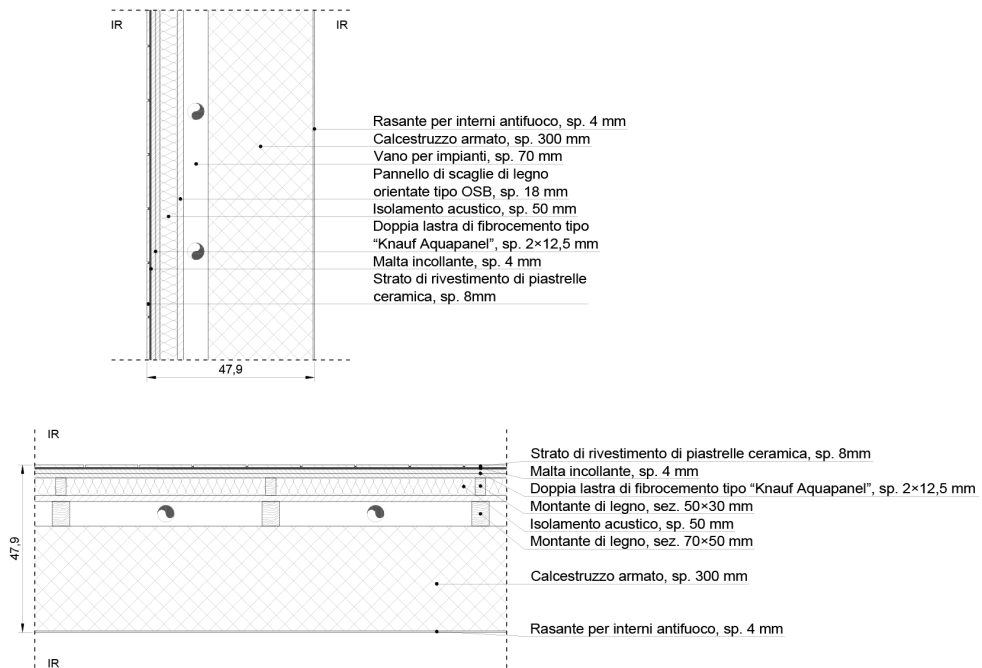
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Rete di montanti in legno massiccio	0,050	0,60	490	0,016
Totale peso proprio strutturale				0,016
Peso superficiale della chiusura				1,086

Parete strutturale antincendio - PV7



Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale (kN/m²)
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Rasante per interno	0,004	1500	0,060
Totale peso proprio non strutturale			0,120

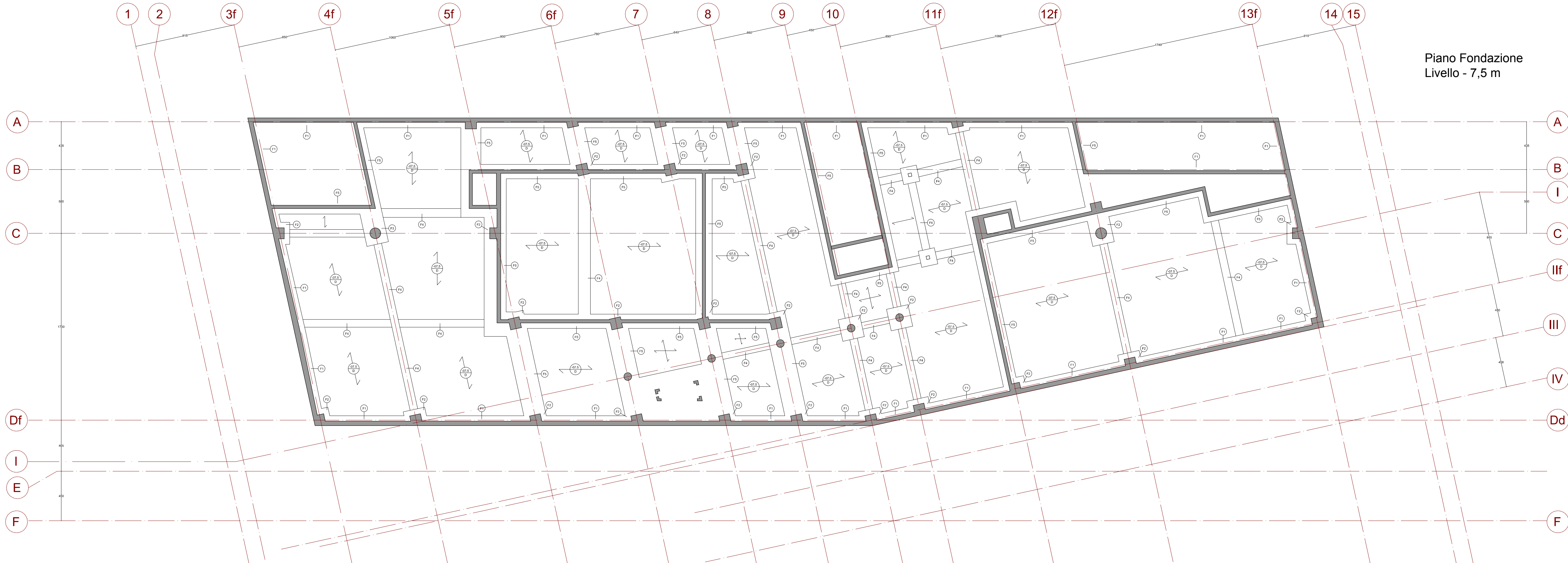
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m³]	Peso superficiale [kN/m²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Totale peso proprio strutturale				7,500
Peso superficiale della chiusura				7,620



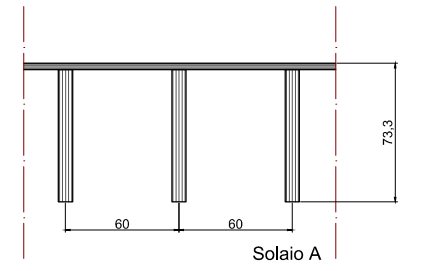
Descrizione dello strato	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale (kN/m ²)
Finitura interna	0,004	1500	0,060
Camera d'aria	0,070		
Pannello di scaglie di legno orientate tipo OSB	0,018	640	0,115
Isolante termo-acustico morbido di lana di roccia	0,050	35	0,018
Lastra di cemento Knauf Aquapanel indoor	0,025	1050	0,263
Malta cementizia	0,004	2000	0,080
Piastrelle ceramica	0,008	2300	0,184
Totale peso proprio non strutturale			0,719

Descrizione dello strato	Spessore [m]	Interassi [m]	Densità [kg/m ³]	Peso superficiale [kN/m ²]
Cls armato	0,300	-	2500	7,500
Totale peso proprio strutturale				7,500
Peso superficiale della chiusura				8,219

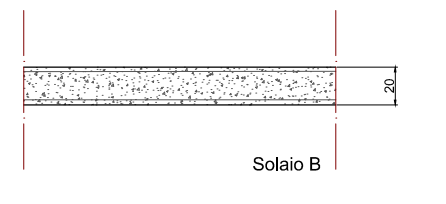
PIANTE STRUTTURALI



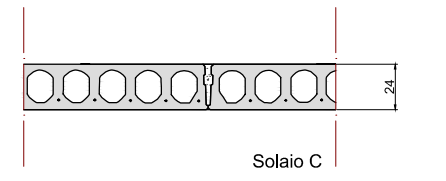
Piano Fondazione
Livello - 7,5 m



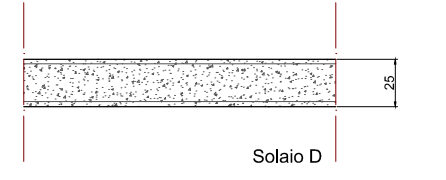
Il solaiio A si situa nella parte delle collezioni. Questo solaiio è composto di trave in legno lamellare di 70cm di altezza collegate fra loro con degli elementi di rigidezza.



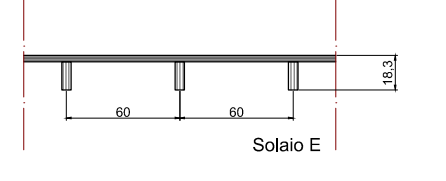
Il solaiio B si situa nelle torri di servizi che contengono anche le vie di fuga. Questo solaiio è composto di una soletta di calcestruzzo armato di 20 cm di larghezza.



Il solaiio C si situa negli spazi interrati che hanno delle luci superiori a 5m. Questo solaiio è composto da una soletta di calcestruzzo armato alveolare precompressa di 24 cm di altezza.



Il solaiio D si situa nei solai contro terra. Questo solaiio è composto da una soletta di calcestruzzo armato di 25 cm di larghezza.

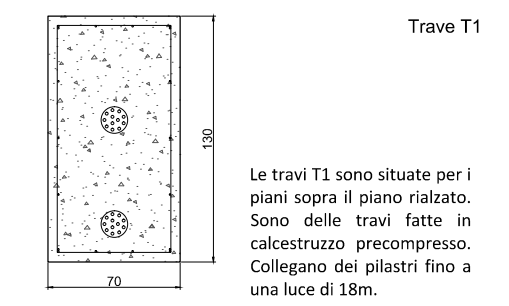


Il solaiio E si situa nelle passerelle. Questo solaiio è composto di trave in legno lamellare di 18cm di altezza collegate fra loro con dei elementi di rigidezza.

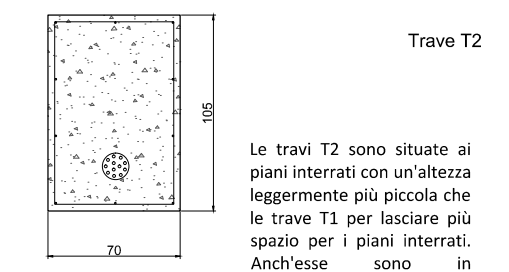
Scala
1 : 500



Piano Interrato 1
Livello - 3,5 m



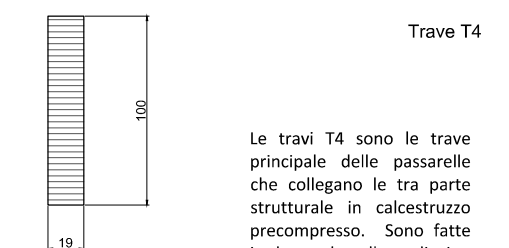
Le travi T1 sono situate per i piani sopra il piano rialzato. Sono delle travi fatte in calcestruzzo precompresso. Collegano dei pilastri fino a una luce di 18m.



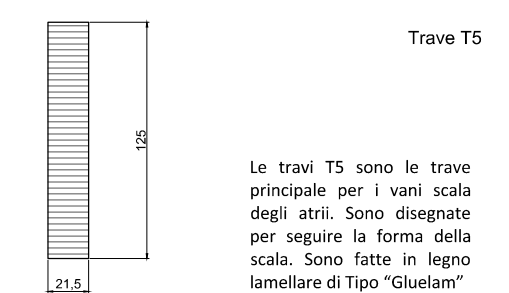
Le travi T2 sono situate ai piani interrati con un'altezza leggermente più piccola che le travi T1 per lasciare più spazio per i piani interrati. Anch'esse sono in calcestruzzo precompresso.



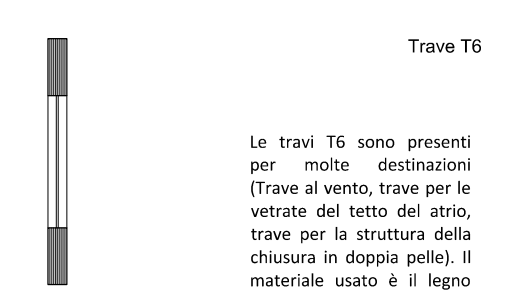
Le travi T3 sono le travi tipo in calcestruzzo armato. Sono presenti in tutti i solai della torre vano scala.



Le travi T4 sono le trave principale delle passerelle che collegano le tra parte strutturale in calcestruzzo precompresso. Sono fatte in legno lamellare di tipo "Gluelam".



Le travi T5 sono le trave principale per i vani scala degli atrii. Sono disegnate per seguire la forma della scala. Sono fatte in legno lamellare di Tipo "Gluelam".

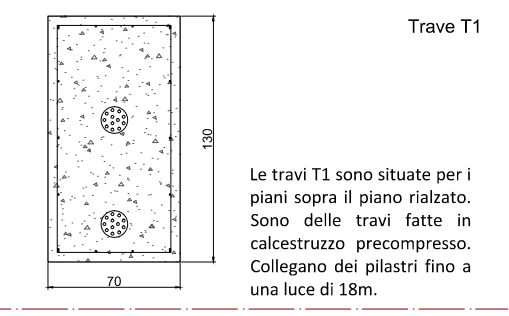


Le travi T6 sono presenti per molte destinazioni (Trave al vento, trave per le vetrate del tetto del atrio, trave per la struttura della chiusura in doppia pelle). Il materiale usato è il legno lamellare reticolare.

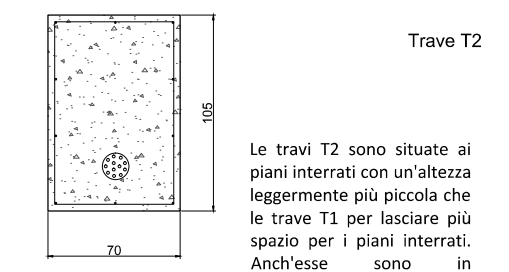
Scala
1 : 500



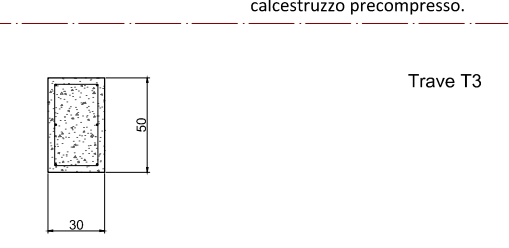
Piano Rialzato
Livello + 2,5 m



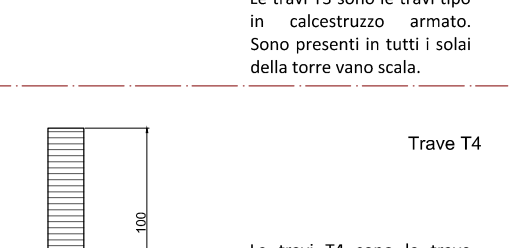
Trave T1
Le travi T1 sono situate per i piani sopra il piano rialzato. Sono delle travi fatte in calcestruzzo precompresso. Collegano dei pilastri fino a una luce di 18m.



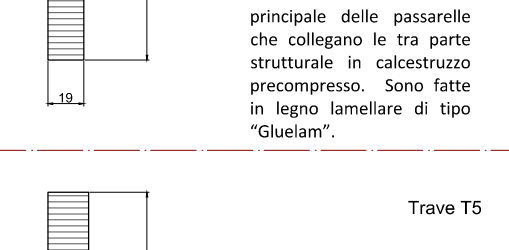
Trave T2
Le travi T2 sono situate ai piani interrati con un'altezza leggermente più piccola che le travi T1 per lasciare più spazio per i piani interrati. Anch'esse sono in calcestruzzo precompresso.



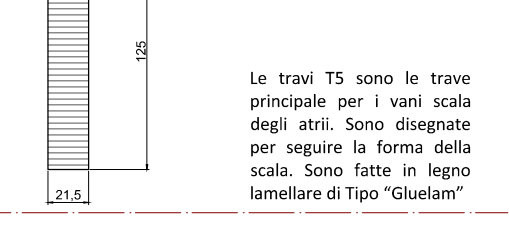
Trave T3
Le travi T3 sono le travi tipo in calcestruzzo armato. Sono presenti in tutti i solai della torre vano scala.



Trave T4
Le travi T4 sono le trave principale delle passerelle che collegano le tra parte strutturale in calcestruzzo precompresso. Sono fatte in legno lamellare di tipo "Gluelam".

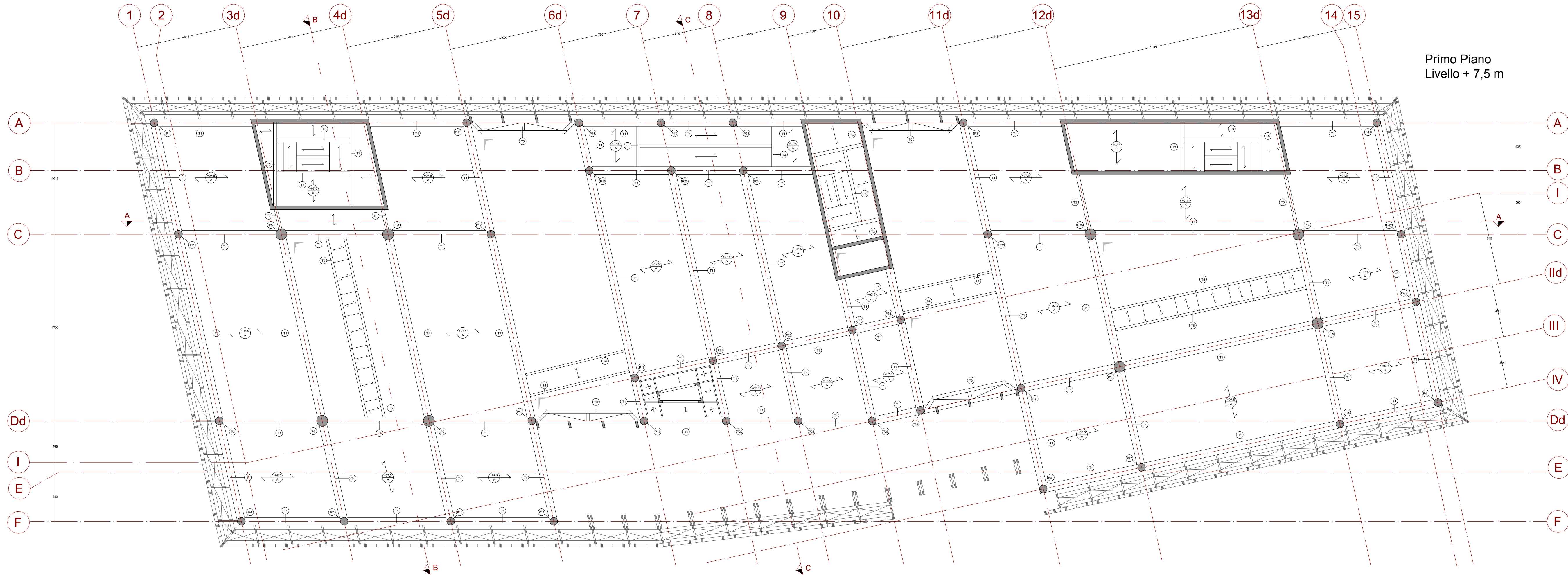


Trave T5
Le travi T5 sono le trave principale per i vani scala degli atrii. Sono disegnate per seguire la forma della scala. Sono fatte in legno lamellare di Tipo "Gluelam".

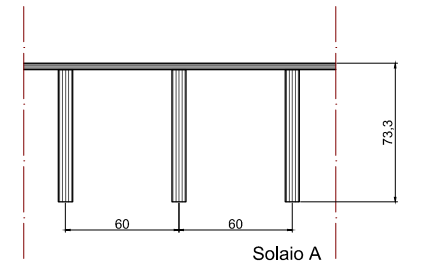


Trave T6
Le travi T6 sono presenti per molte destinazioni (Trave al vento, trave per le vetrate del tetto del atrio, trave per la struttura della chiusura in doppia pelle). Il materiale usato è il legno lamellare reticolare.

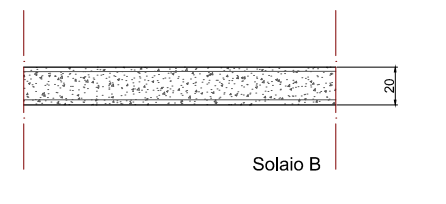
Scala
1 : 500



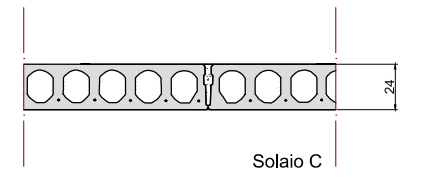
Primo Piano
Livello + 7,5 m



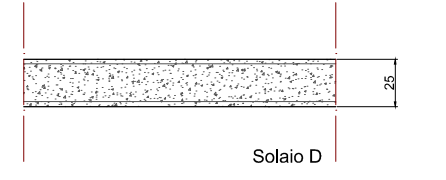
Il solaio A si situa nella parte delle collezioni. Questo solaio è composto di trave in legno lamellare di 70cm di altezza collegate fra loro con degli elementi di rigidezza.



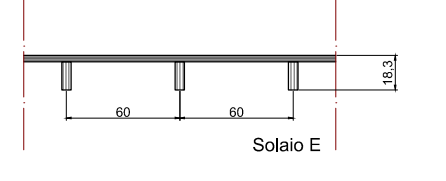
Il solaio B si situa nelle torri di servizi che contengono anche le vie di fuga. Questo solaio è composto di una soletta di calcestruzzo armato di 20 cm di larghezza.



Il solaio C si situa negli spazi interrati che hanno delle luci superiori a 5m. Questo solaio è composto da una soletta di calcestruzzo armato alveolare precompressa di 24 cm di altezza.

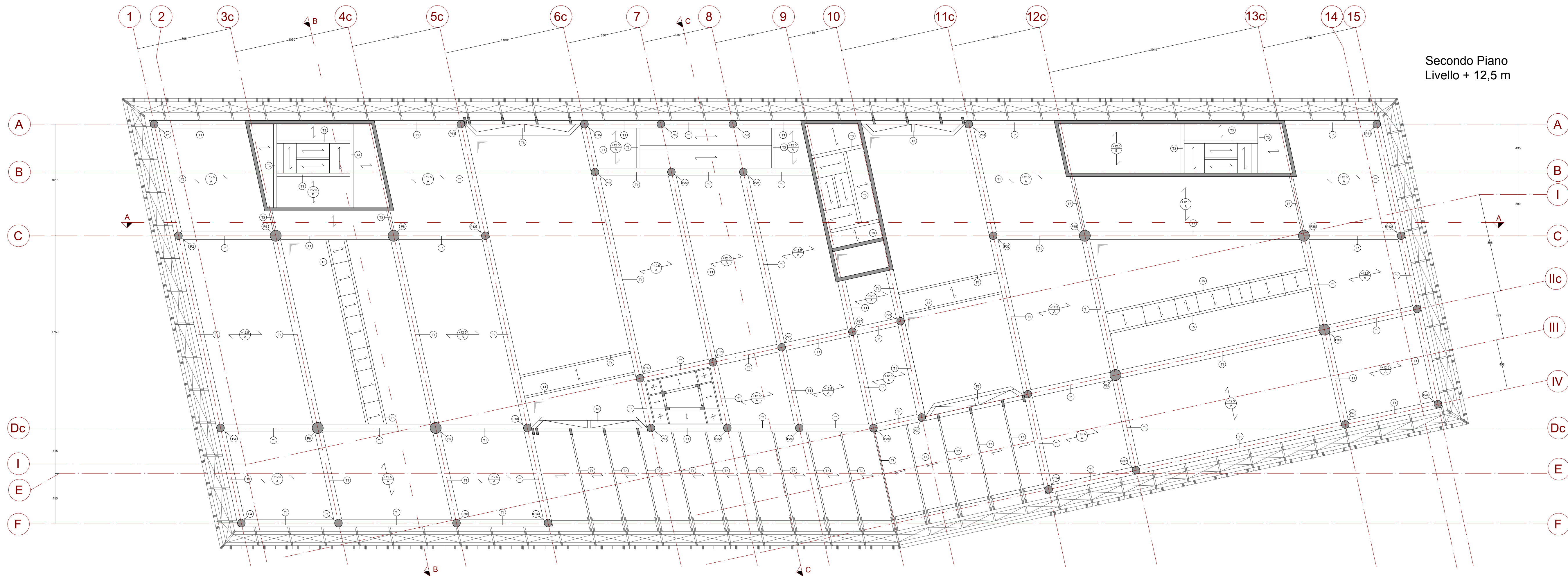


Il solaio D si situa nei solai contro terra. Questo solaio è composto da una soletta di calcestruzzo armato di 25 cm di larghezza.



Il solaio E si situa nelle passerelle. Questo solaio è composto di trave in legno lamellare di 18cm di altezza collegate fra loro con dei elementi di rigidezza

Scala
1 : 500



Secondo Piano
Livello + 12,5 m

Trave T1

Le travi T1 sono situate per i piani sopra il piano rialzato. Sono delle travi fatte in calcestruzzo precompresso. Collegano dei pilastri fino a una luce di 18m.

Trave T2

Le travi T2 sono situate ai piani interrati con un'altezza leggermente più piccola che le travi T1 per lasciare più spazio per i piani interrati. Anch'esse sono in calcestruzzo precompresso.

Trave T3

Le travi T3 sono le travi tipo in calcestruzzo armato. Sono presenti in tutti i solai della torre vano scala.

Trave T4

Le travi T4 sono le travi principale delle passerelle che collegano le tra parte strutturale in calcestruzzo precompresso. Sono fatte in legno lamellare di tipo "Gluelam".

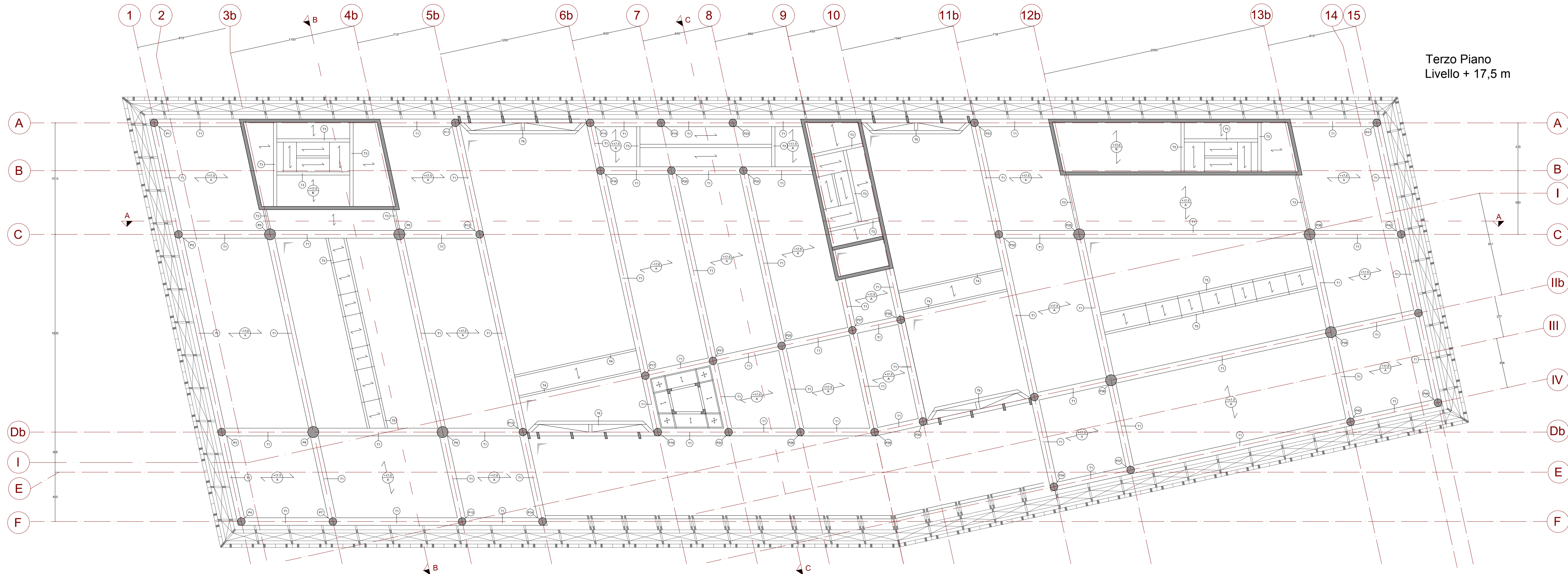
Trave T5

Le travi T5 sono le trave principale per i vani scala degli atrii. Sono disegnate per seguire la forma della scala. Sono fatte in legno lamellare di Tipo "Gluelam".

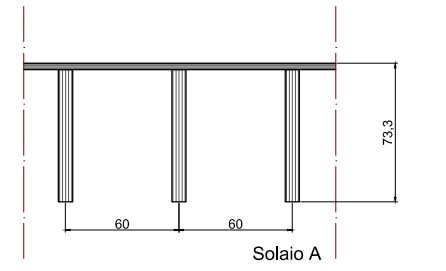
Trave T6

Le travi T6 sono presenti per molte destinazioni (Trave al vento, trave per le vetrate del tetto dell atrio, trave per la struttura della chiusura in doppia pelle). Il materiale usato è il legno lamellare reticolare.

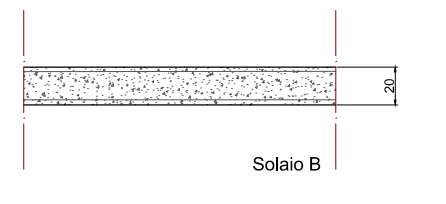
Scala
1 : 500



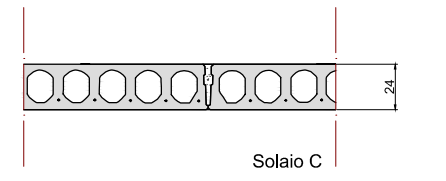
Terzo Piano
Livello + 17,5 m



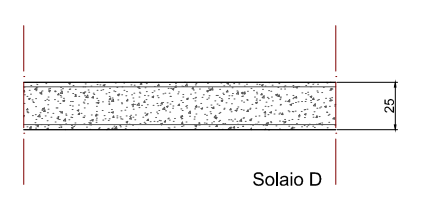
Il solaiio A si situa nella parte delle collezioni. Questo solaiio è composto di trave in legno lamellare di 70cm di altezza collegate fra loro con degli elementi di rigidezza.



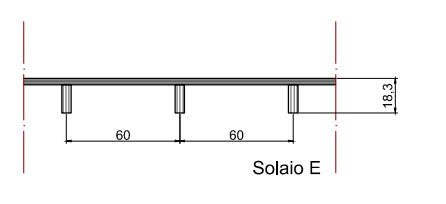
Il solaiio B si situa nelle torri di servizi che contengono anche le vie di fuga. Questo solaiio è composto di una soletta di calcestruzzo armato di 20 cm di larghezza.



Il solaiio C si situa negli spazi interrati che hanno delle luci superiori a 5m. Questo solaiio è composto da una soletta di calcestruzzo armato alveolare precompresso di 24 cm di altezza.

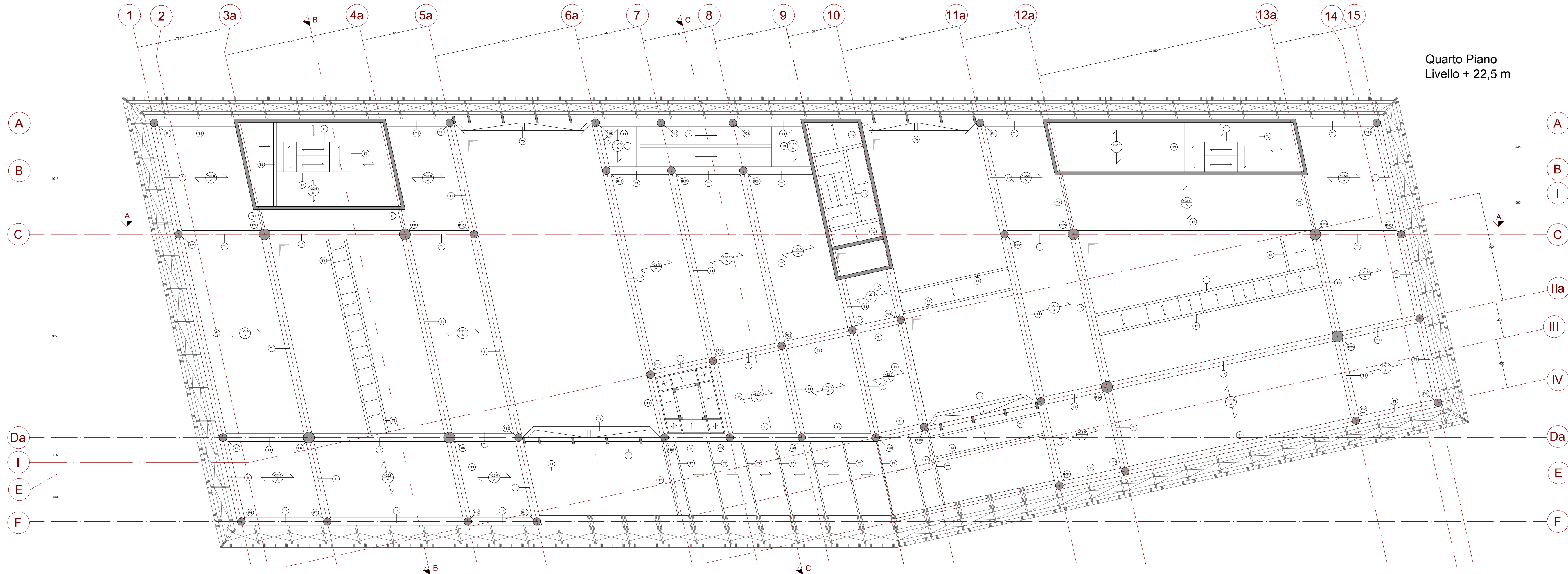


Il solaiio D si situa nei solai contro terra. Questo solaiio è composto da una soletta di calcestruzzo armato di 25 cm di larghezza.



Il solaiio E si situa nelle passerelle. Questo solaiio è composto di trave in legno lamellare di 18cm di altezza collegate fra loro con dei elementi di rigidezza.

Scala
1 : 500



Quarto Piano
Livello + 22,5 m

Trave T1

Le travi T1 sono situate per i piani sopra il piano rialzato. Sono delle travi fatte in calcestruzzo precompresso. Collegano dei pilastri fino a una luce di 18m.

Trave T2

Le travi T2 sono situate ai piani interrati con un'altezza leggermente più piccola che le travi T1 per lasciare più spazio per i piani interrati. Anch'esse sono in calcestruzzo precompresso.

Trave T3

Le travi T3 sono le travi tipo in calcestruzzo armato. Sono presenti in tutti i solai della torre vano scala.

Trave T4

Le travi T4 sono le travi principale delle passerelle che collegano le tra parte strutturale in calcestruzzo precompresso. Sono fatte in legno lamellare di tipo "Gluelam".

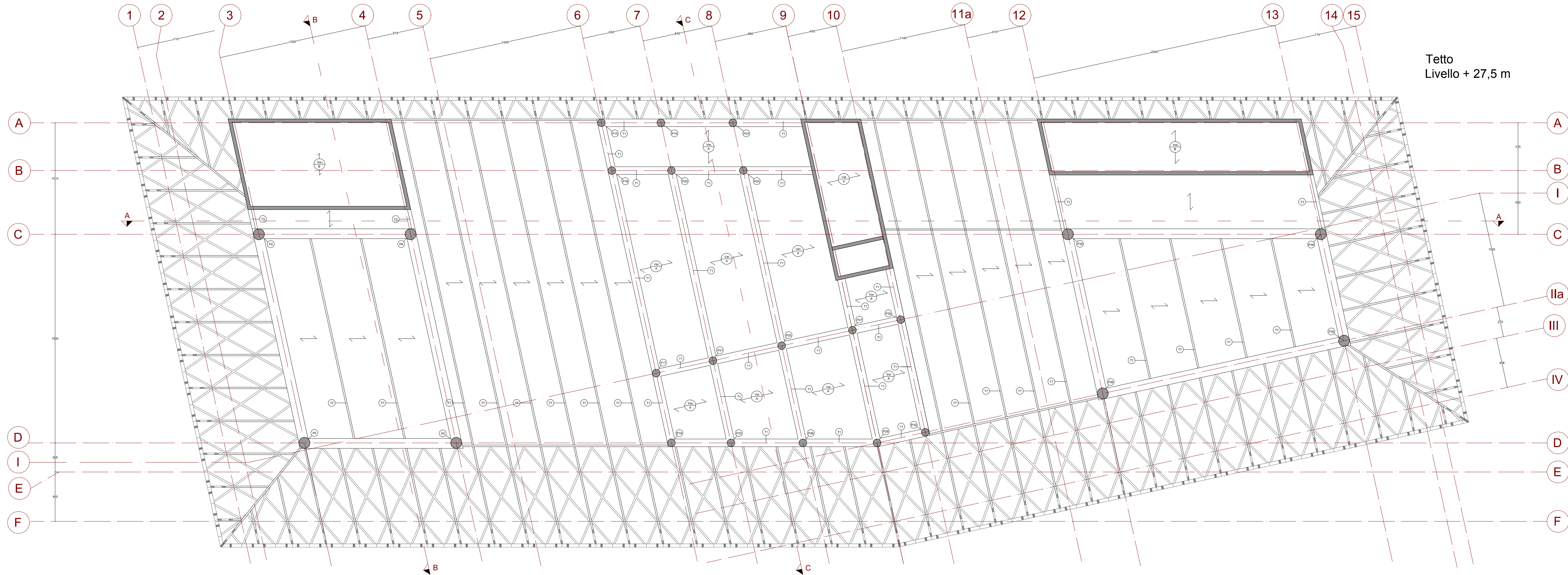
Trave T5

Le travi T5 sono le travi principale per i vani scala degli atrii. Sono disegnate per seguire la forma della scala. Sono fatte in legno lamellare di Tipo "Gluelam".

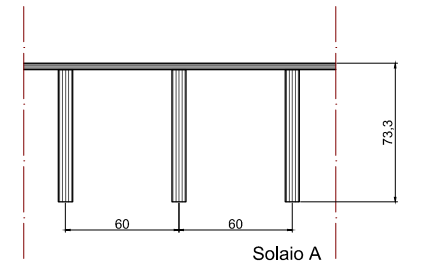
Trave T6

Le travi T6 sono presenti per molte destinazioni (Trave al vento, trave per le vetrate del tetto del atrio, trave per la struttura della chiusura in doppia pelle). Il materiale usato è il legno lamellare reticolare.

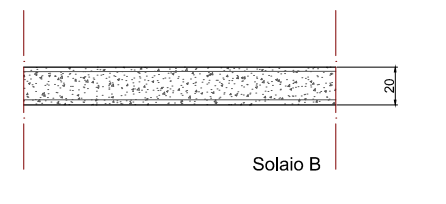
Scala
1 : 500



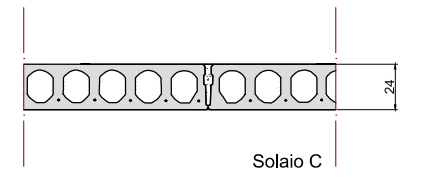
Tetto
Livello + 27,5 m



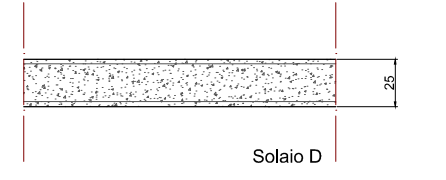
Solai A
Il solai A si situa nella parte delle collezioni. Questo solai è composto di trave in legno lamellare di 70cm di altezza collegate fra loro con degli elementi di rigidezza.



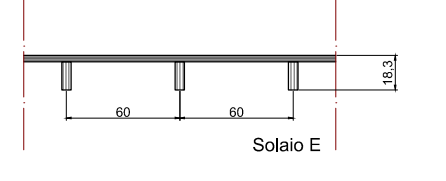
Solai B
Il solai B si situa nelle torri di servizi che contengono anche le vie di fuga. Questo solai è composto di una soletta di calcestruzzo armato di 20 cm di larghezza.



Solai C
Il solai C si situa negli spazi interrati che hanno delle luci superiori a 5m. Questo solai è composto da una soletta di calcestruzzo armato alveolare precompresso di 24 cm di altezza.

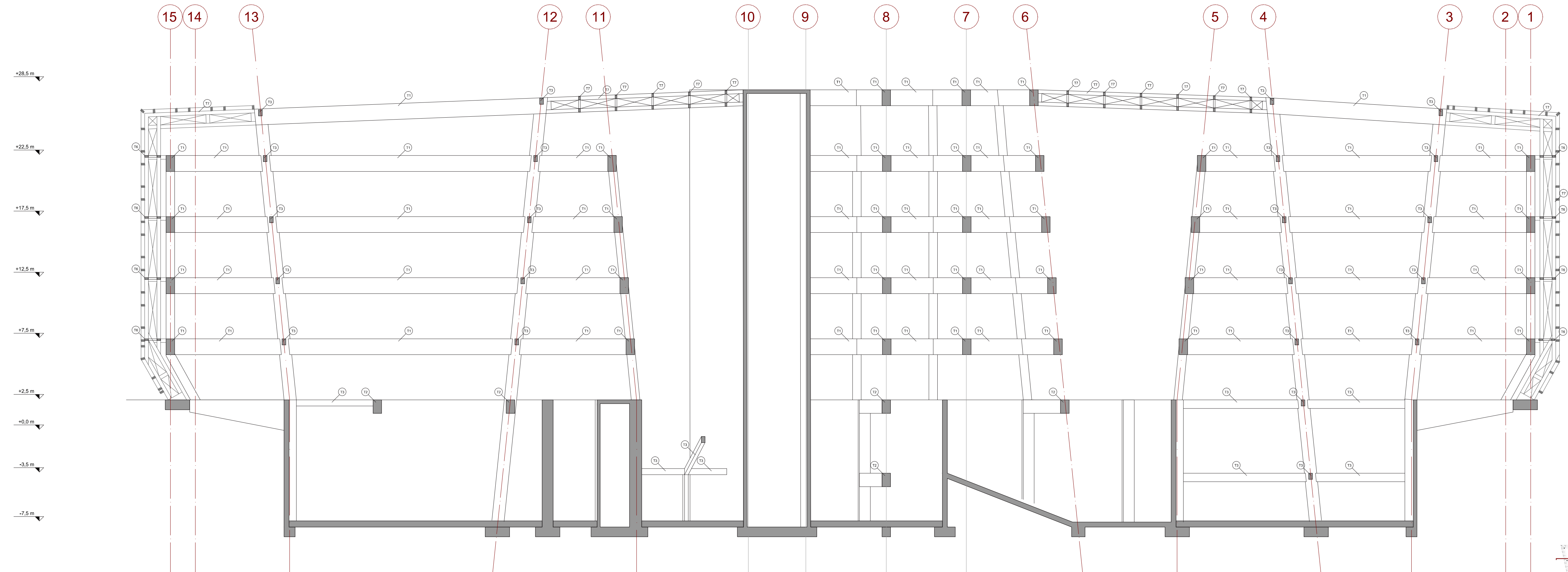


Solai D
Il solai D si situa nei solai contro terra. Questo solai è composto da una soletta di calcestruzzo armato di 25 cm di larghezza.

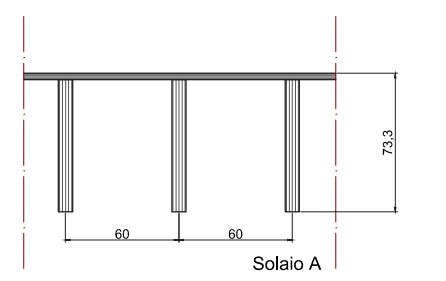


Solai E
Il solai E si situa nelle passerelle. Questo solai è composto di trave in legno lamellare di 18cm di altezza collegate fra loro con dei elementi di rigidezza.

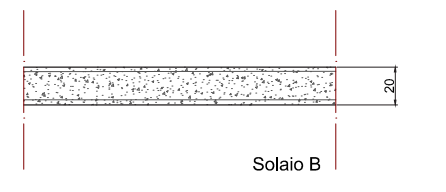
Scala
1 : 500



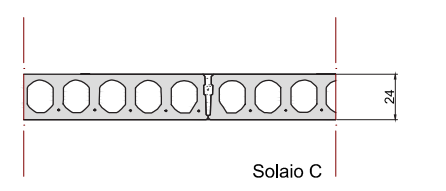
Sezione AA



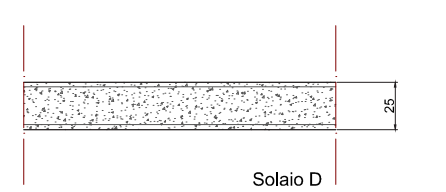
Il solaio A si situa nella parte delle collezioni. Questo solaio è composto di trave in legno lamellare di 70cm di altezza collegate fra loro con degli elementi di rigidezza.



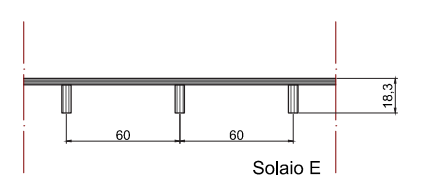
Il solaio B si situa nelle torri di servizi che contengono anche le vie di fuga. Questo solaio è composto di una soletta di calcestruzzo armato di 20 cm di larghezza.



Il solaio C si situa negli spazi interrati che hanno delle luci superiori a 5m. Questo solaio è composto da una soletta di calcestruzzo armato alveolare precompressa di 24 cm di altezza.



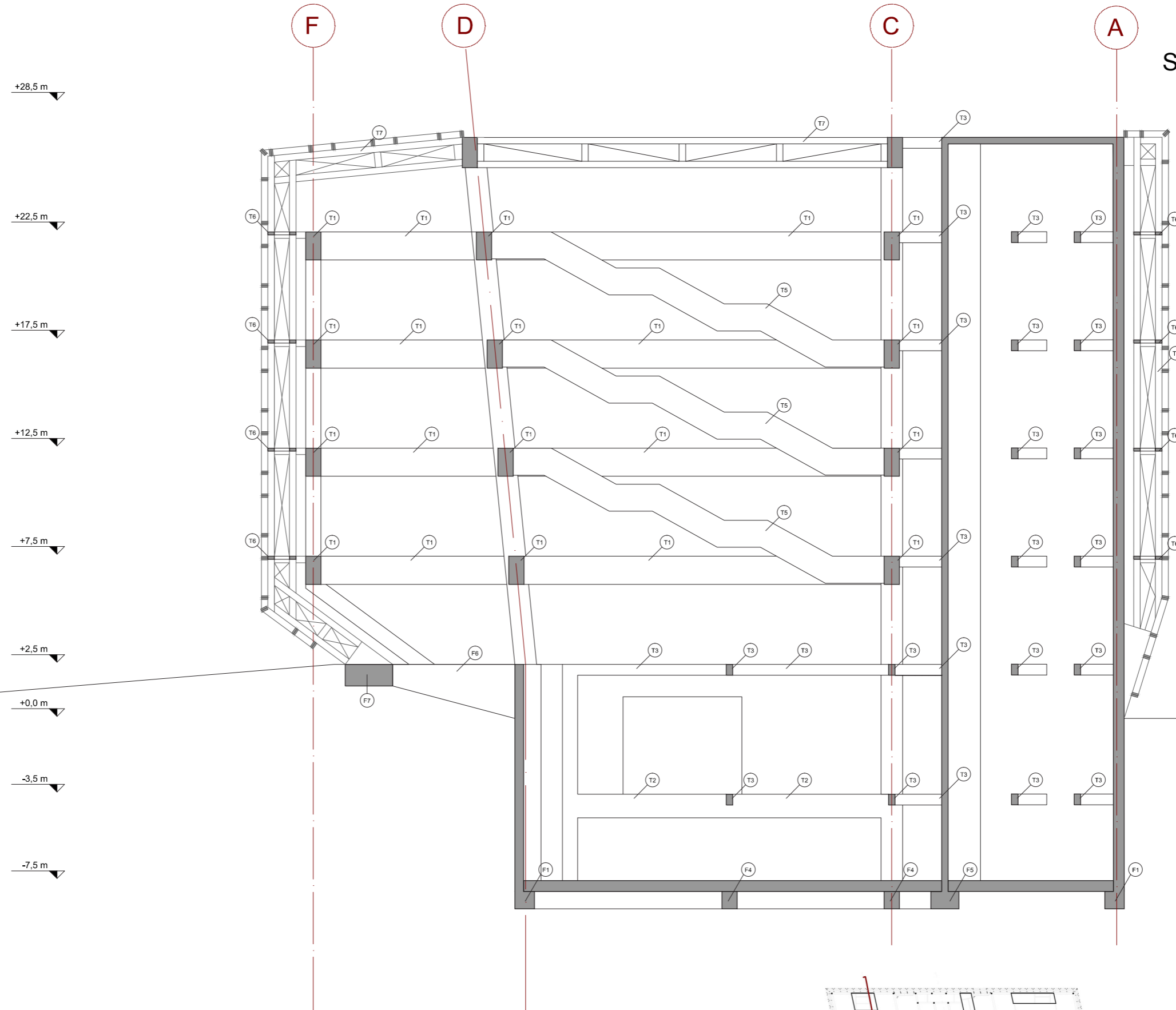
Il solaio D si situa nei solai contro terra. Questo solaio è composto da una soletta di calcestruzzo armato di 25 cm di larghezza.



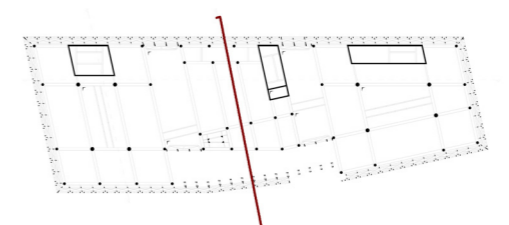
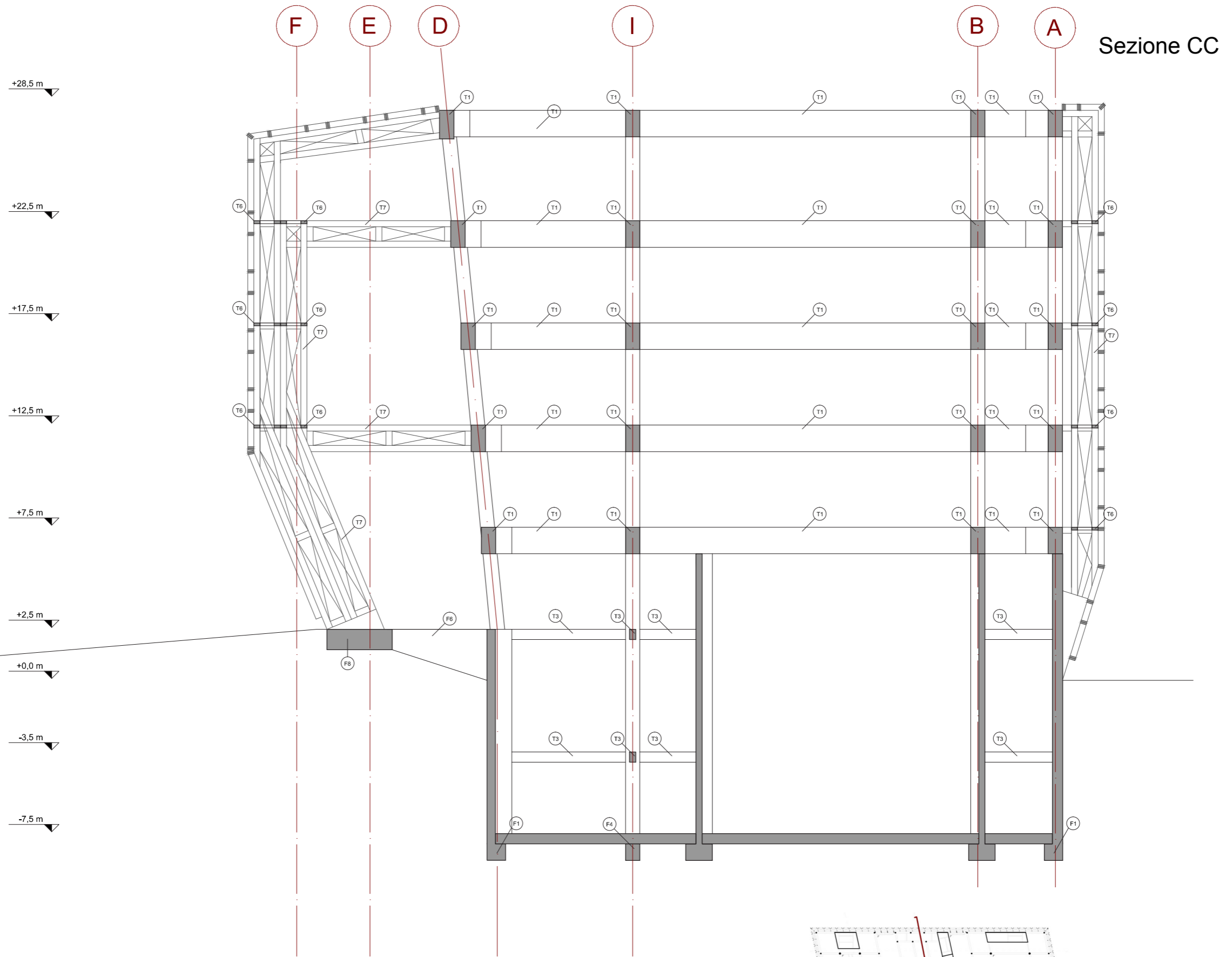
Il solaio E si situa nelle passerelle. Questo solaio è composto di trave in legno lamellare di 18cm di altezza collegate fra loro con dei elementi di rigidezza

Scala
1 : 500

Sezione BB



Scala
1 : 200



Scala
1 : 200

CALCOLI DI SOLAI

Il solaio è ordito parallelamente al lato minore della maglia strutturale. La struttura del solaio si appoggia sulle travi di calcestruzzo con una luce che dipende del piano in cui si trova il solaio. Per la trave di calcolo prendiamo la parte più caricata con la luce più grande. Abbiamo scelto quindi di calcolare il solaio del primo piano di tipo C02 con una struttura in elementi di legno lamellare.

La struttura del solaio si compone di travi di legno lamellare di tipo Kerto S di dimensione 70x7,5cm posizionate con un interasse di 60cm.

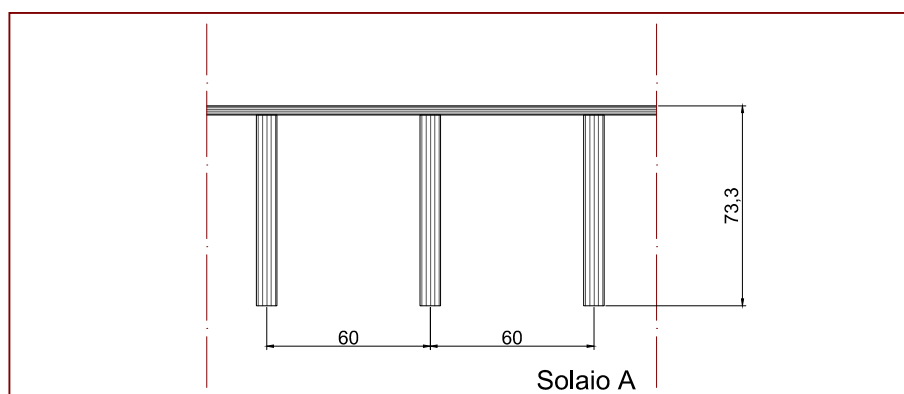


Figura 5.17 - Sezione del solaio di tipo A.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Altezza trave del solaio A	h_{T-A}	0,70	m
Larghezza trave del solaio A	b_{T-A}	0,075	m
Superficie della trave del solaio A	A_{T-A}	0,0525	m ²
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T-A,y}$	2,144E-03	m ⁴
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse z	$I_{T-A,z}$	2,461E-05	m ⁴
Densità del legno lamellare	ρ_l	5,10	kN/m ³

Prospetto 5.10 - Caratteristiche geometriche della trave del solaio A.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young secondo l'asse y ^(5.24)	$E_{k,y}$	13800	N/mm ²
Modulo di Taglio secondo l'asse y ^(5.24)	$G_{k,y}$	600	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5.24)	$f_{m,0,y}$	44,00	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5.24)	$f_{v,0,y}$	4,10	N/mm ²
Coefficiente di proprietà degli materiali	γ_M	1,25	-
Classe di servizio	-	1	-
Coefficiente di correzione per la durata del carico e l'umidità	k_{mod}	0,70	-
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y ^(5.25)	$E_{d,y}$	11040	N/mm ²
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y ^(5.26)	$G_{d,y}$	480	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{m,0,d,y}$	24,64	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{v,0,d}$	2,30	N/mm ²

Prospetto 5.11 - Caratteristiche materiale del legno lamellare di tipo Kerto

Ref. 5.24 - Valore del costruttore Metsä wood

Ref. 5.25 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.15

Ref. 5.26 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.16

Ref. 5.27 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.17

I carichi presi in conto nel calcolo sono definiti dalla geometria e i diversi carichi imposti al solaio:

PRIMO CASO: SOLAIO NELLA PARTE DI SCAFFALI DELLA COLLEZIONE

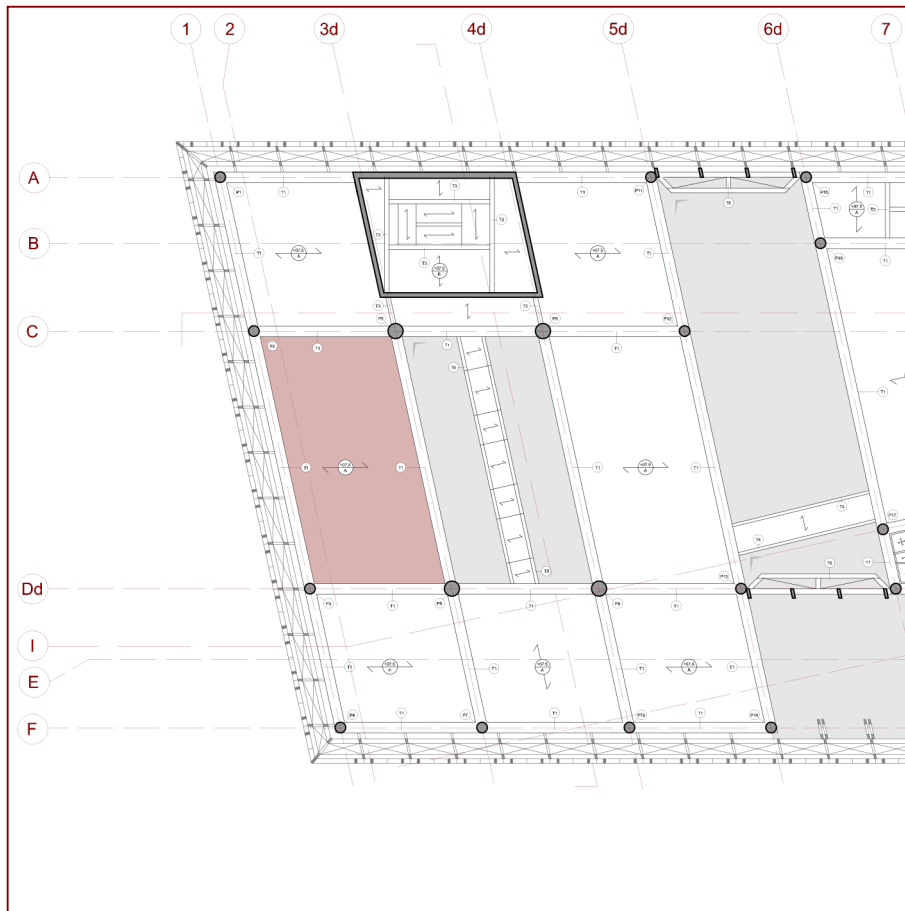


Figura 5.18 - Posizione dell'area di calcolo - Collezione.

Calcolo delle Combinazioni d'azioni

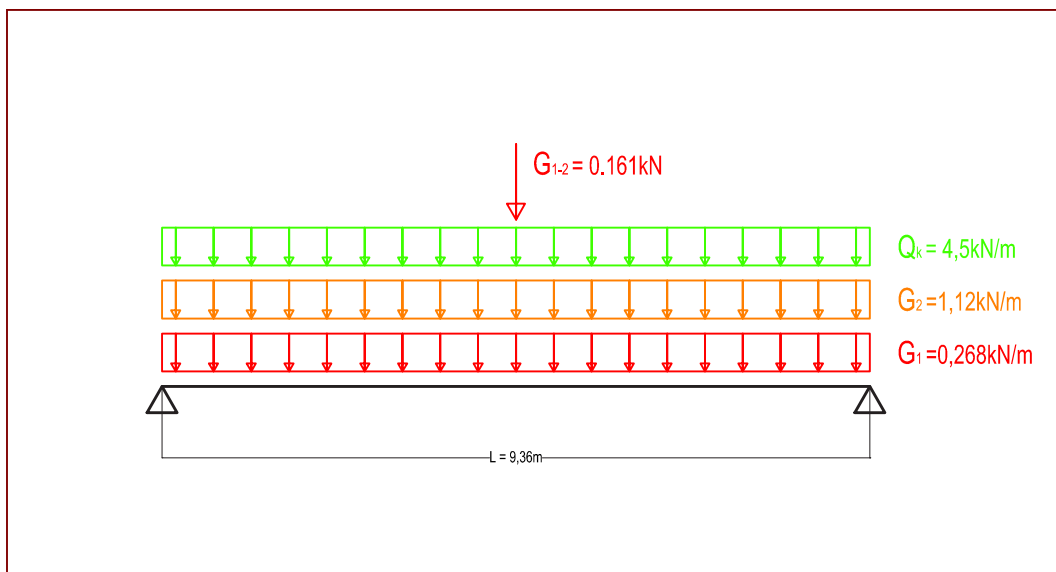


Figura 5.19 - Carico nel caso del calcolo 1.

Due tipi di carichi si applicano sulla trave:

- Un carico puntuale legato al peso proprio della trave secondaria situata al centro della trave principale
- Un carico lineare che riprende il peso proprio della trave stessa, il peso proprio del solaio sulla larghezza d'influenza della trave e il sovraccarico di esercizio sulla stessa larghezza d'influenza.

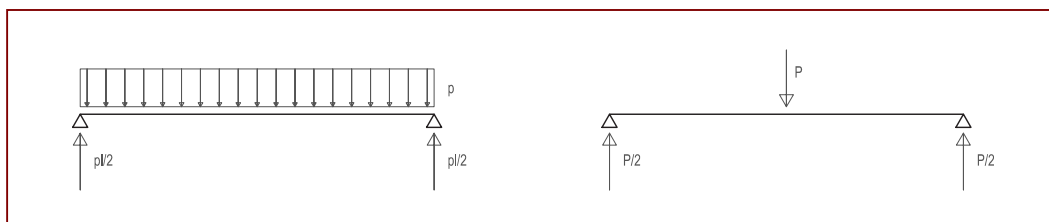


Figura 5.20- Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 1.

I diversi carichi sono calcolati con i valori dei coefficienti di azione. Questi coefficienti di azione dipendono del tipo di combinazione usato.

$$P = \gamma_G \times G_{1-2}$$

$$p = \gamma_G \times G_1 + \gamma_G \times G_2 + \gamma_Q \times Q_{k1}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Peso proprio lineare della trave principale	G_1	0,268	kN/ml
Peso proprio lineare della trave secondaria	g_{1-2}	0,268	kN/ml
Interasse della trave principale	e	0,60	m
Peso proprio della trave secondaria sulla trave principale	G_{1-2}	0,161	kN
Peso proprio della parte non strutturale del solaio	g_2	1,864	kN/m ²
Peso proprio lineare della parte non strutturale del solaio	G_2	1,118	kN/ml
Sovraccarico di esercizio	q_{k1}	7,500	kN/m ²
Sovraccarico lineare di esercizio	Q_{k1}	4,500	kN/ml
Carico lineare allo SLU	p_{SLU}	9,628	kN/ml
Carico puntuale allo SLU	P_{SLU}	0,217	kN
Carico lineare allo SLE	p_{SLE}	6,632	kN/ml
Carico Puntuale allo SLE	P_{SLE}	0,161	kN

Prospetto 5.12 - Combinazione d'azioni per il solaio A nel caso del calcolo 1.

Calcolo delle sollecitazioni e delle reazioni d'appoggio

Il calcolo agli appoggi dà l'equazione:

$$R_A = R_B = \frac{p \times l}{2} + \frac{P}{2}$$

Visto il carico puntuale, le sollecitazioni sono calcolate in due zone diverse:

- La prima zona va dall'appoggio A fino al punto di applicazione del carico puntuale. (x=da 0 a l/2)
- La seconda zona va dal punto d'applicazione del carico puntuale fino all'appoggio B. (x=da l/2 a l)

Per il momento di flessione:

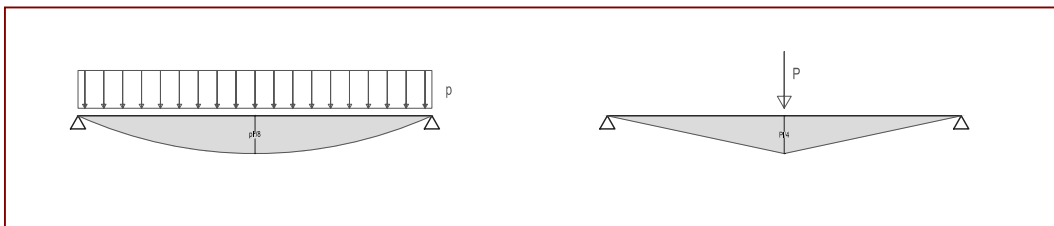


Figura 5.21 - Diagrammi dei momento di flessione secondo il tipo di carico.

$$M_1 = -x^2 \times \frac{p}{2} + x \times \left(\frac{p \times l}{2} + \frac{P}{2} \right)$$

$$M_2 = -x^2 \times \frac{p}{2} + x \times \left(\frac{p \times l}{2} + \frac{P}{2} \right) - (x - \frac{l}{2}) \times P$$

Per il taglio:

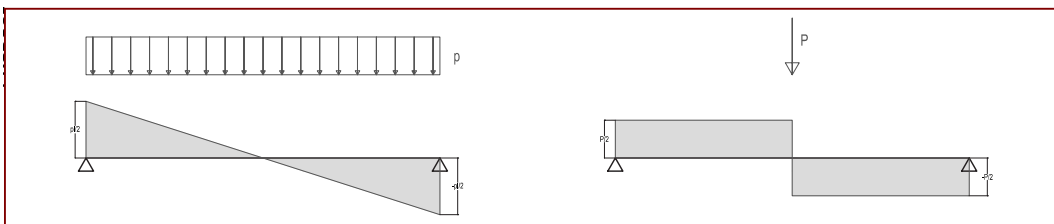


Figura 5.22 - Diagrammi del taglio secondo il tipo di carico.

$$V_1 = -x \times p + \left(\frac{p \times l}{2} + \frac{P}{2} \right)$$

$$V_2 = -x \times p + \left(\frac{p \times l}{2} - \frac{P}{2} \right)$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carico lineare allo SLU	P_{SLU}	9,628	kN/ml
Carico puntuale allo SLU	P_{SLU}	0,217	kN
Carico lineare allo SLE	P_{SLE}	6,632	kN/ml
Carico Puntuale allo SLE	P_{SLE}	0,161	kN
Lunghezza della trave	l	9,36	m
Reazione al appoggio A	R_A	45	kN
Reazione al appoggio B	R_B	45	kN
Valore max del Taglio	V_{max}	45	kN
Valore max del momento di flessione	M_{max}	106	kNm

Prospetto 5.13 - Calcoli delle sollecitazioni per il solaio A nel calcolo 1

Calcolo delle tensioni dovute alle sollecitazioni

Le tensioni dovute alle sollecitazioni sono calcolate secondo un semplice calcolo di resistenza dei materiali.

Per la tensione dovuta al momento di flessione:

$$\sigma_{m,0,y} = \frac{M_{y,max}}{W_y} = \frac{M_{y,max} \times \frac{h}{2}}{I}$$

Per la tensione dovuta al taglio:

$$\tau_d = \frac{V_{y,max}}{A_S}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T-A,y}$	2,144E-03	m^4
Altezza della trave	h	0,70	m
Tensione dovuto al Momento di flessione Max	$\sigma_{m,0,y}$	17,3	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{m,0,d,y}$	24,6	N/mm ²
Verifiche $\sigma_{m,0,y} < f_{m,0,d,y}$ ^(5.28)			SI
Superficie resistente al taglio per la trave del solaio A ^(5.30)	$A_{S,T-A}$	0,0352	m ²
Tensione dovuto al Taglio max	τ_d	1,28	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{v,0,d}$	2,3	N/mm ²
Verifiche $\tau_d < f_{v,0,d}$ ^(5.29)			SI

Prospetto 5.14 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite Ultimo per il calcolo 1.

Ref. 5.28 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.11
 Ref. 5.29 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.13
 Ref. 5.30 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.13a

$$\begin{aligned} \sigma_{m,0,y} &< f_{m,0,y} \\ \tau_d &< f_{v,0,d} \end{aligned}$$

Calcolo della freccia nel solaio

Per questo calcolo abbiamo usato il principio dei lavori virtuali per calcolare la deformazione massima della trave.

Quindi prendiamo un sistema equivalente con una forza unitaria puntuale al centro della trave di calcolo. Questa forza produce un momento e uno sforzo al taglio che sono usati nel calcolo della freccia. Abbiamo valutato la freccia sia dovuta al momento di flessione sia dovuta allo sforzo di taglio.

I diagrammi di momento di flessione e di taglio sono i seguenti:

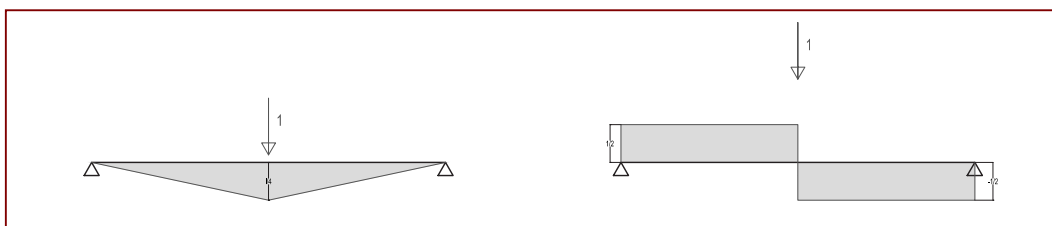


Figura 5.23 - Diagrammi per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.

Una combinazione di forze puntuali e lineari si applica alla trave, dunque calcoliamo la deformazione dovuta a entrambi i carichi.

La deformazione dovuta al momento è quindi:

$$\delta_m = \frac{l^3}{E \times I} \times \left(\frac{5}{384} \times pl + \frac{1}{48} \times P \right)$$

L'altra deformazione dovuta allo sforzo di taglio:

$$\delta_v = \frac{l}{G \times A_s} \times \left(\frac{1}{8} \times pl + \frac{1}{4} \times P \right)$$

In fine la verifica della freccia si fa con un rapporto della lunghezza della trave, nel nostro caso come siamo con un rivestimento morbido, la freccia massima dev'essere minore di $l/250$.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y	$E_{d,y}$	11040	N/mm ²
Valore di freccia dovuto al momento di flessione	δ_M	0,028	m
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y	$G_{d,y}$	480	N/mm ²
Valore di freccia dovuto al Taglio	δ_v	0,003	m
Valore di freccia massima della trave di solaio	δ	0,031	m
Valore di riferimento per la freccia (=l/250)	δ_{ref}	0,037	m
Verifiche $\delta < \delta_{ref}$			SI

Prospetto 5.15 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite di Esercizio per il calcolo 1.

$$\delta_m + \delta_v < \delta_{ref}$$

SECONDO CASO: SOLAIO NELLA PARTE DEGLI STUDI

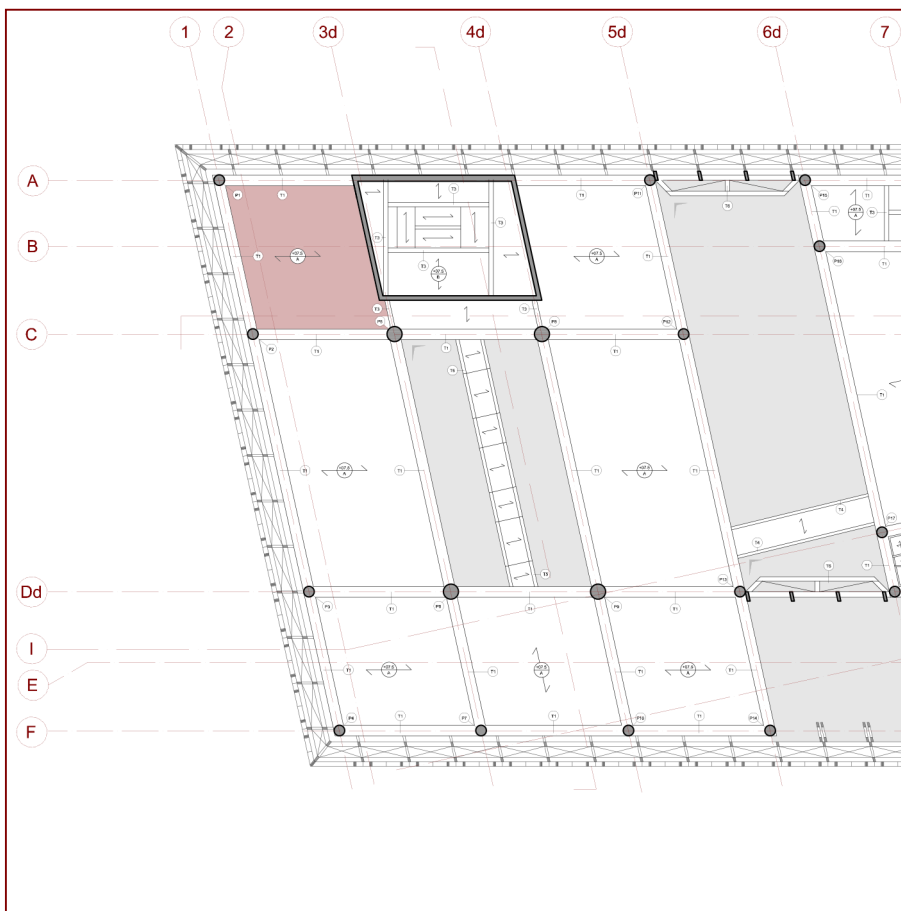


Figura 5.24 - Posizione dell'area di calcolo - Studi.

Calcolo delle Combinazioni d'azioni

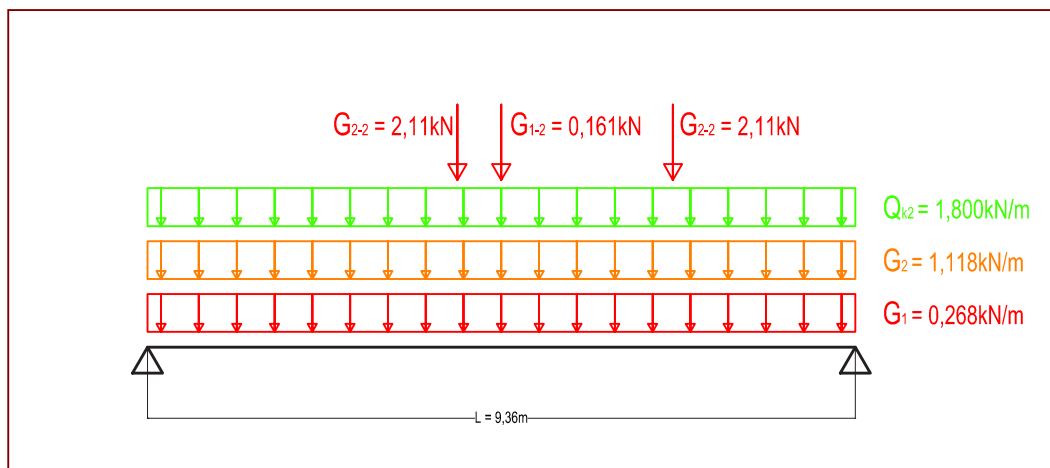


Figura 5.25 - Carico nel caso del calcolo 2.

Quattro tipi di carichi si applicano sulla trave:

- Un carico puntuale legato al peso proprio della trave secondaria situata al centro della trave principale.
- Due carichi puntuali legati al peso proprio di una parete verticale situata in due posizioni sulla trave principale.
- Un carico lineare che riprende il peso proprio della trave stessa, il peso proprio del solaio sulla larghezza d'influenza della trave e il sovraccarico di esercizio sulla stessa larghezza d'influenza.

I diversi carichi sono calcolati con i valori dei coefficienti di azione. Questi coefficienti di azione dipendono del tipo di combinazioni usato.

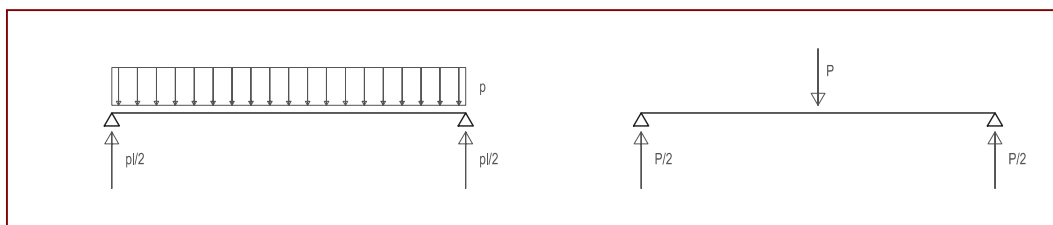


Figura 5.26 - Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 2 -1.

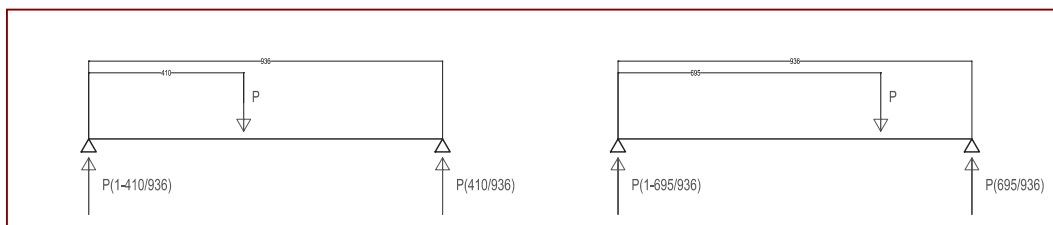


Figura 5.27 - Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 2 -2.

$$P = \gamma_G \times G_{1-2}$$

$$p = \gamma_G \times G_1 + \gamma_G \times G_2 + \gamma_Q \times Q_{k1}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Peso proprio lineare della trave principale	G_1	0,268	kN/ml
Peso proprio lineare della trave secondaria	g_{1-2}	0,268	kN/ml
Interasse della trave principale	e	0,60	m
Peso proprio della trave secondaria sulla trave principale	G_{1-2}	0,161	kN
Peso proprio della parte non strutturale del solaio	g_2	1,864	kN/m ²
Peso proprio lineare della parte non strutturale del solaio	G_2	1,118	kN/ml
Peso proprio della parete verticale PV3	g_{PV3}	0,878	kN/m ²
Altezza della arete PV3	h_{PV3}	4,00	m
Peso proprio della parete verticale PV3 sulla trave principale	G_{2-2}	2,107	kN
Sovraccarico di esercizio	q_{k1}	3,000	kN/m ²
Sovraccarico lineare di esercizio	Q_{k1}	1,800	kN/ml
Carico lineare allo SLU	p_{SLU}	5,578	kN/ml
Carico puntuale 1 allo SLU	$P_{1,SLU}$	0,217	kN
Carico puntuale 2 allo SLU	$P_{2,SLU}$	2,845	kN
Carico puntuale 3 allo SLU	$P_{3,SLU}$	2,845	kN
Carico lineare allo SLE	p_{SLE}	3,932	kN/ml
Carico Puntuale 1 allo SLE	$P_{1,SLE}$	0,161	kN
Carico puntuale 2 allo SLE	$P_{2,SLE}$	2,107	kN
Carico puntuale 3 allo SLE	$P_{3,SLE}$	2,107	kN

Prospetto 5.16 - Combinazione d'azioni per il solaio A nel caso del calcolo 2.

Calcolo delle sollecitazioni e delle reazioni d'appoggio

Il calcolo ai appoggi danno gli equazioni:

$$R_A = \frac{p \times l}{2} + \frac{P_1}{2} + \frac{P_2 \times (936 - 410)}{936} + \frac{P_2 \times (936 - 695)}{936}$$

$$R_B = \frac{p \times l}{2} + \frac{P_1}{2} + \frac{P_2 \times 410}{936} + \frac{P_2 \times 695}{936}$$

Visto i carichi puntuali, le sollecitazioni sono calcolate in quattro zone diverse:

- La prima zona va dall'appoggio A fino al punto di applicazione del primo carico puntuale. (x=da 0 a 4,10m)
- La seconda zona va dal punto d'applicazione del primo carico puntuale al secondo carico puntuale. (x=da 4,10m a l/2)
- La terza zona va dal punto d'applicazione del secondo carico puntuale al terzo carico puntuale. (x=da l/2 a 6,95m)
- La quarta zona va dal punto d'applicazione del terzo carico puntuale all'appoggio B (x da 6,95m a l)

Per il momento di flessione :

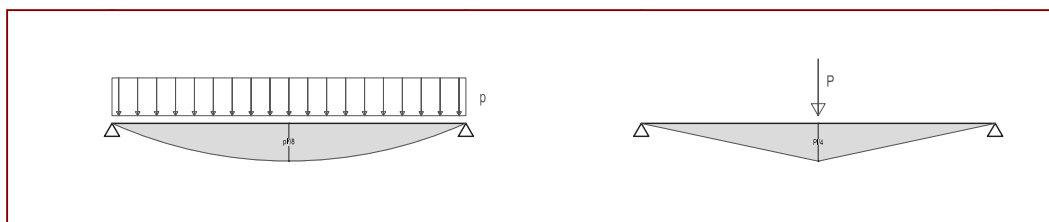


Figura 5.28 - Diagrammi dei momenti di flessione nella trave - calcolo 2 - 1.

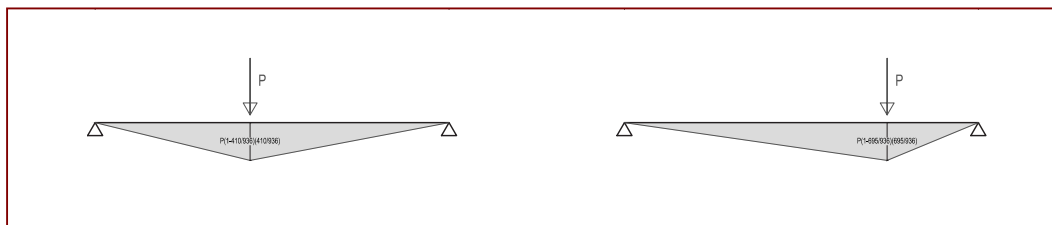


Figura 5.29 - Diagrammi dei momenti di flessione nella trave - calcolo 2 - 2.

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

$$M_2 = -x^2 \times \frac{p}{2} + x \times (R_A) - (x - 4,10)P_2$$

$$M_3 = -x^2 \times \frac{p}{2} + x \times (R_A) - (x - 4,10) \times P_2 - \left(x - \frac{l}{2}\right) \times P_1$$

$$M_4 = -x^2 \times \frac{p}{2} + x \times (R_A) - (x - 4,10) \times P_2 - \left(x - \frac{l}{2}\right) \times P_1 - (x - 6,95) \times P_3$$

Per il taglio :

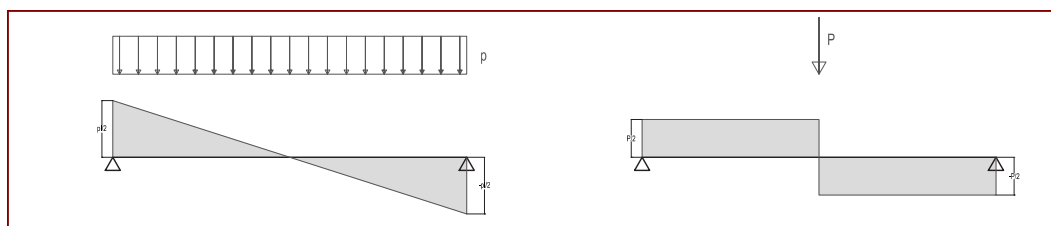


Figura 5.30 - Diagrammi del taglio nella trave - calcolo 2 - 1.

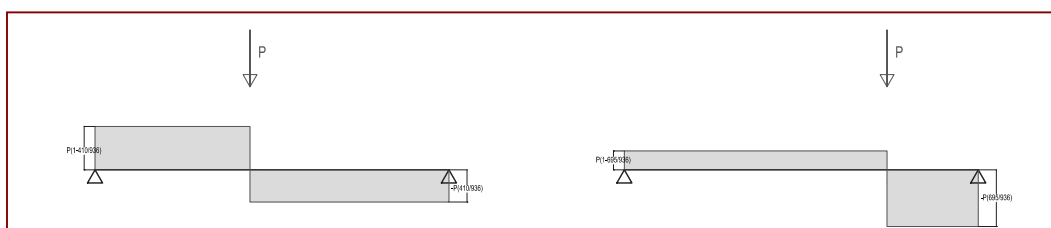


Figura 5.31 - Diagrammi del taglio nella trave - calcolo 2 - 2.

$$V_1 = -x \times p + R_A$$

$$V_2 = -x \times p + R_A - P_2$$

$$V_3 = -x \times p + R_A - P_2 - P_1$$

$$V_4 = -x \times p + R_A - P_2 - P_1 - P_3$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carico lineare allo SLU	p_{SLU}	5,578	kN/ml
Carico puntuale 1 allo SLU	$P_{1,SLU}$	0,217	kN
Carico puntuale 2 allo SLU	$P_{2,SLU}$	2,845	kN
Carico puntuale 3 allo SLU	$P_{3,SLU}$	2,845	kN
Carico lineare allo SLE	p_{SLE}	3,932	kN/ml
Carico Puntuale 1 allo SLE	$P_{1,SLE}$	0,161	kN
Carico puntuale 2 allo SLE	$P_{2,SLE}$	2,107	kN
Carico puntuale 3 allo SLE	$P_{3,SLE}$	2,107	kN
Lunghezza della trave	l	9,36	m
Reazione al appoggio A	R_A	29	kN
Reazione al appoggio B	R_B	30	kN
Valore max del Taglio	V_{max}	30	kN
Valore del momento di flessione al centro della trave	$M_{l/2}$	71	kNm

Prospetto 5.17 - Calcoli delle sollecitazioni per il solaio A nel calcolo 2.

Calcolo delle tensioni dovute alle sollecitazioni

Le tensioni dovute alle sollecitazioni sono calcolate secondo un semplice calcolo di resistenza dei materiali.

Per la tensione dovuta al momento di flessione:

$$\sigma_{m,0,y} = \frac{M_{y,max}}{W_y} = \frac{M_{y,max} \times \frac{h}{2}}{I}$$

Per la tensione dovuto al taglio:

$$\tau_d = \frac{V_{y,max}}{A_S}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T-A,y}$	2,144E-03	m ⁴
Altezza della trave	h	0,70	m
Tensione dovuto al Momento di flessione Max	$\sigma_{m,0,y}$	11,6	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{m,0,d,y}$	24,6	N/mm ²
Verifiche $\sigma_{m,0,y} < f_{m,0,d,y}$ ^(5.28)			SI
Superficie resistente al taglio per la trave del solaio A ^(5.30)	$A_{S,T-A}$	0,0352	m ²
Tensione dovuto al Taglio max	τ_d	0,84	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{v,0,d}$	2,3	N/mm ²
Verifiche $\tau_d < f_{v,0,d}$ ^(5.29)			SI

Prospetto 5.18 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite Ultimo per il calcolo 2.

$$\begin{aligned} \sigma_{m,0,y} &< f_{m,0,d} \\ \tau_d &< f_{v,0,d} \end{aligned}$$

Calcolo della freccia nel solaio

Per questo calcolo abbiamo usato il principio dei lavori virtuali per calcolare la deformazione massima della trave.

Quindi prendiamo un sistema equivalente con una forza unitaria puntuale al centro della trave di calcolo. Questa forza produce un momento e uno sforzo al taglio che sono usati nel calcolo della freccia. Abbiamo valutato la freccia sia dovuta al momento di flessione sia dovuta allo sforzo di taglio.

I diagrammi di momento di flessione e di taglio sono i seguenti:

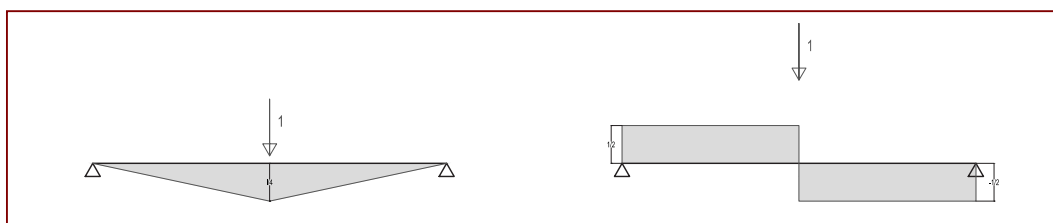


Figura 5.32 - Diagrammi per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.

Una combinazione di forze puntuali e lineari si applica alla trave, dunque calcoliamo la deformazione dovuta a entrambi i carichi.

La deformazione dovuta al momento è quindi:

$$\delta_m = \frac{l^3}{E \times I} \times \left(\frac{5}{384} \times pl + \frac{1}{48} \times P_1 + \frac{0,977}{48} \times P_2 + \frac{0,590}{48} \times P_3 \right)$$

L'altra deformazione dovuta allo sforzo di taglio:

$$\delta_v = \frac{l}{G \times A_s} \times \left(\frac{1}{8} \times pl + \frac{1}{4} \times P_1 + 0,205 \times P_2 + 0,098 \times P_3 \right)$$

In fine la verifica della freccia si fa con un rapporto della lunghezza della trave, nel nostro caso come siamo con un rivestimento morbido, la freccia massima dev'essere minore di $l/250$.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y	$E_{d,y}$	11040	N/mm ²
Valore di freccia dovuto al momento di flessione	δ_M	0,019	m
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y	$G_{d,y}$	480	N/mm ²
Valore di freccia dovuto al Taglio	δ_v	0,003	m
Valore di freccia massima della trave di solaio	δ	0,022	m
Valore di riferimento per la freccia (=l/250)	δ_{ref}	0,037	m
Verifiche $\delta < \delta_{ref}$			SI

Prospetto 5.19 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite di Esercizio per il calcolo 2.

Il secondo calcolo è meno esigente del primo dal punto di vista sia della resistenza della trave sia della freccia ammissibile.

$$\delta_m + \delta_v < \delta_{ref}$$

CALCOLI PER IL VANO SCALA

Il calcolo per il vano scala si fa sulla parete orizzontale PO7 che ripresenta i solai della scala negli atri della collezione. Questa parete orizzontale è composta di elementi di legno lamellare che danno la forma ai gradini e in fine sono ricoperti di un rivestimento. I gradini si attaccano sulla trave principale della scala. Questa trave è composta di un grande elemento di legno lamellare di $1,25 \times 0,215\text{m}$ che seguono la forma della scala.

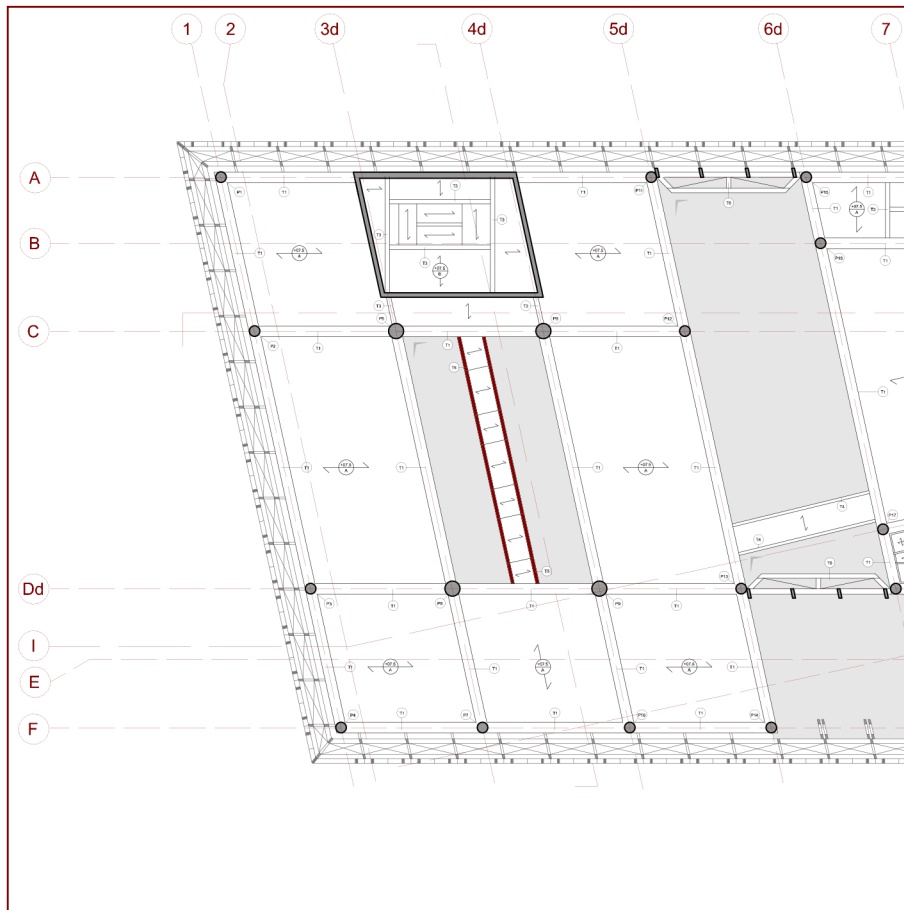


Figura 5.33 - Posizione dell'area di calcolo - Vano scala.

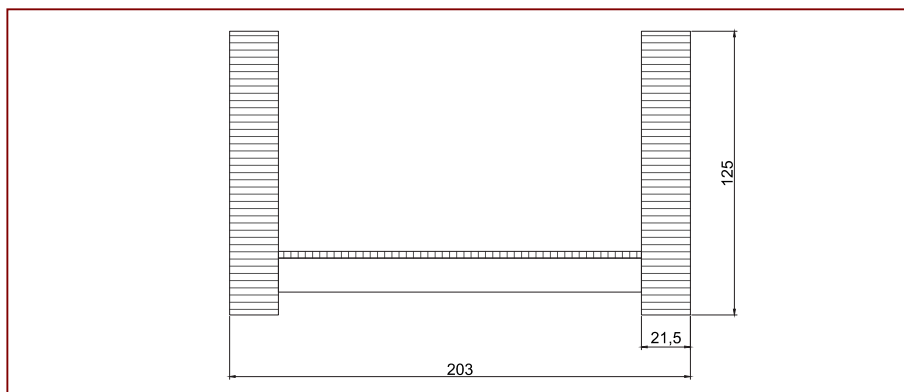


Figura 5.34 - Sezione del solaio del vano scala dell'atrio

Nome	Notazione	Valore	Unità
Altezza trave del solaio A	h_{T5}	1,25	m
Larghezza trave del solaio A	b_{T5}	0,215	m
Superficie della trave del solaio A	A_{T5}	0,2688	m ²
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T5,y}$	3,499E-02	m ⁴
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse z	$I_{T5,z}$	1,035E-03	m ⁴
Angolo delle part 2-4-6	α	29	°
Densità del legno lamellare	ρ_l	5,10	kN/m ³

Prospetto 5.20 - Caratteristiche geometriche della trave del vano scala.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young secondo l'asse y ^(5.24)	$E_{k,y}$	13700	N/mm ²
Modulo di Taglio secondo l'asse y ^(5.24)	$G_{k,y}$	850	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5.24)	$f_{m,0,y}$	32,0	N/mm ²
Resistenza alla compressione secondo l'asse z ^(5.24)	$f_{c,0,z}$	29,0	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5.24)	$f_{v,0,y}$	3,8	N/mm ²
Coefficiente di proprietà degli materiali	γ_M	1,250	-
Classe di servizio	-	1,00	-
Coefficiente di correzione per la durata del carico e l'umidità	k_{mod}	0,700	-
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y ^(5.25)	$E_{d,y}$	10960	N/mm ²
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y ^(5.26)	$G_{d,y}$	680	N/mm ²
Resistenza di disegno alla flessione secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{m,0,d,y}$	17,9	N/mm ²
Resistenza di disegno alla flessione secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{c,0,d,z}$	16,2	N/mm ²
Resistenza di disegno al taglio secondo l'asse y ^(5.27)	$f_{v,0,d}$	2,1	N/mm ²

Prospetto 5.21 - Caratteristiche materiale del legno lamellare di tipo Glulam.

Calcolo delle combinazioni d'azioni

I carichi presi in conto nel calcolo sono definiti dalla geometria e dai diversi carichi imposti al solaio:

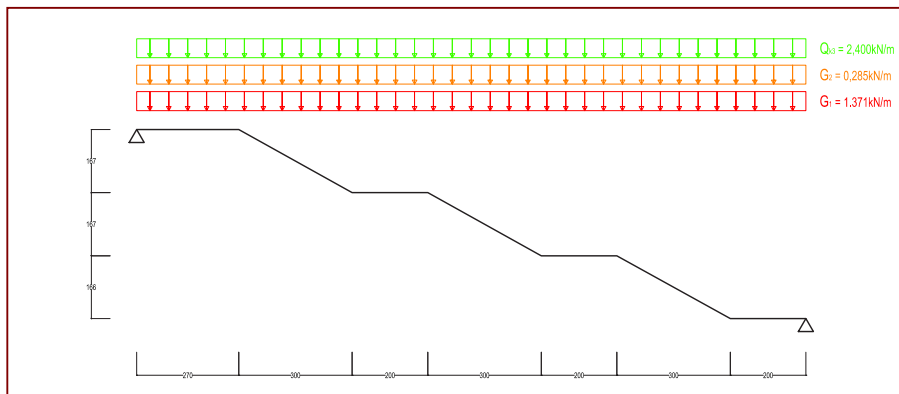


Figura 5.35 - Carico sulla trave del vano scala.

La trave è sottomessa a un carico lineare che riprende il peso proprio della trave, il peso proprio del solaio sulla larghezza d'influenza della trave e il sovraccarico di esercizio sulla stessa larghezza d'influenza.

I diversi carichi sono calcolati con i valori dei coefficienti di azione. Questi coefficienti dipendono del tipo di combinazioni usato.

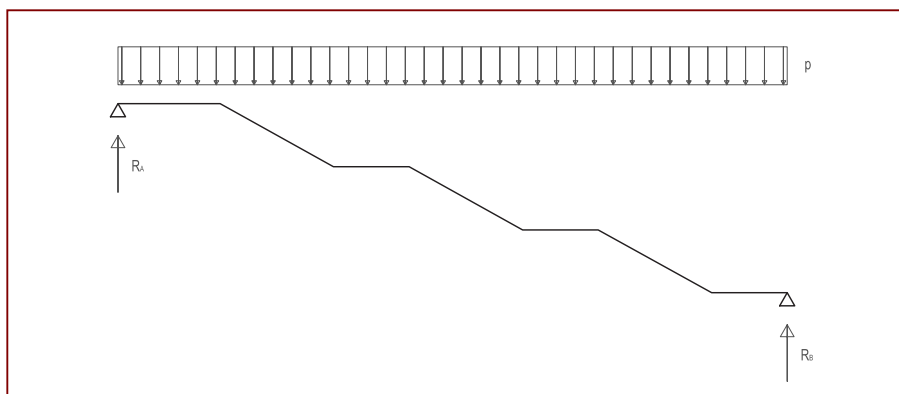


Figura 5.36 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.

In fine le combinazioni sono di tre tipi:

- Il primo caso si riferisce alle parti di trave per i diversi pianerottoli. La proiezione della combinazione dei carichi è già perpendicolare all'asse della trave.
- Il secondo caso si riferisce alla parte di trave che sostiene le rampe della scala. Per i calcoli le combinazioni d'azioni devono essere fatte sull'asse perpendicolare alla trave.
- Il terzo caso si riferisce alla parte di trave che sostiene le rampe della scala. Per i calcoli le combinazioni d'azioni devono essere fatte sull'asse parallele alla trave.

$$p = \gamma_G \times G_1 + \gamma_G \times G_2 + \gamma_Q \times Q_{k1}$$

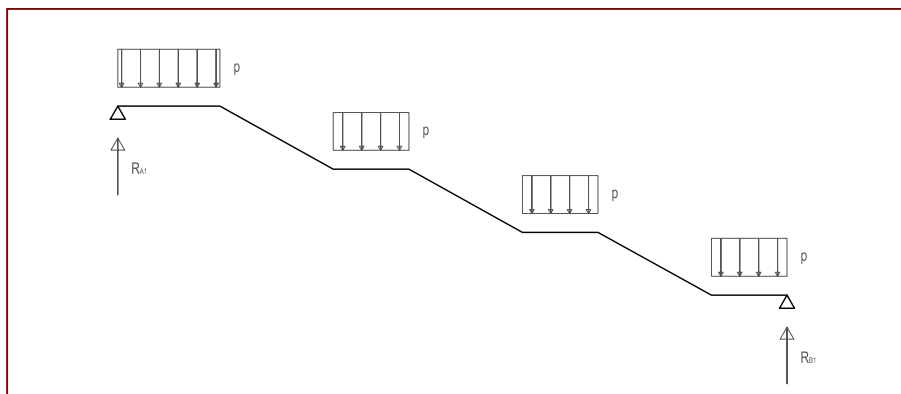


Figura 5.37 - Proiezione 1 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.

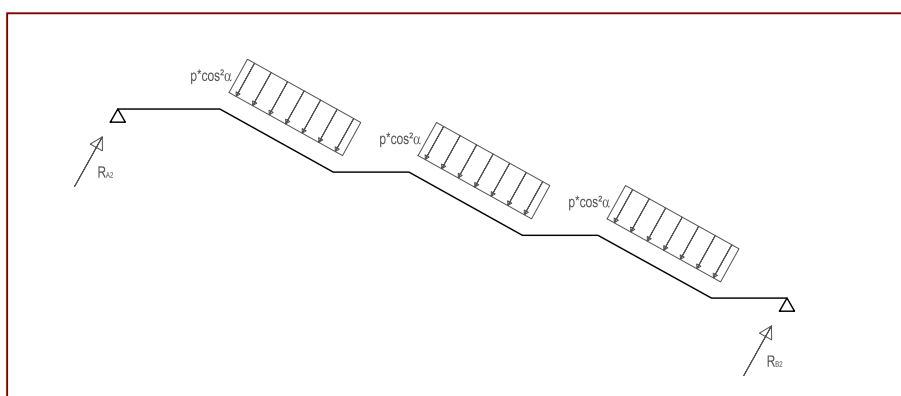


Figura 5.38 - Proiezione 2 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.

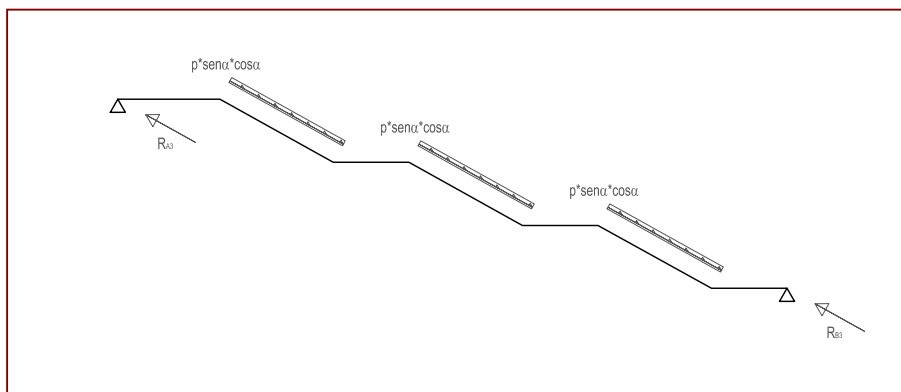


Figura 5.39 - Proiezione 3 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Peso proprio lineare della trave principale	G_1	1,371	kN/ml
Interasse della trave principale	e	0,80	m
Peso proprio della parte non strutturale del solaio	g_2	0,356	kN/m ²
Peso proprio lineare della parte non strutturale del solaio	G_2	0,285	kN/ml
Sovraccarico di esercizio	q_{k1}	3,000	kN/m ²
Sovraccarico lineare di esercizio	Q_{k1}	2,400	kN/ml
Carico lineare allo SLU	p_{SLU}	5,931	kN/ml
Carico lineare allo SLE	p_{SLE}	4,127	kN/ml

Prospetto 5.22 - Combinazione d'azioni per le trave del vano scala.

Calcolo delle sollecitazioni e delle reazioni d'appoggio

Il calcolo agli appoggi dà gli equazioni secondo i due sistemi di riferimento:

$$R_A = R_B = \frac{p \times (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7)}{2}$$

$$H'_A = H'_B = R_A \times \sin \alpha$$

$$V'_A = V'_B = R_A \times \cos \alpha$$

Per causa della forma geometrica, le sollecitazioni sono calcolate in sette zone diverse:

- La prima zona va dall'appoggio A fino all'inizio della prima rampa della scala. (x=da 0 a l1)
- La seconda zona va dall'inizio della prima rampa fino al primo pianerottolo (x=da l1 a l1+l2)
- La terza zona va dall'inizio del primo pianerottolo all'inizio della seconda rampa (x=da l1+l2 a l1+l2+l3)
- La quarta zona va dall'inizio della seconda rampa fino al secondo pianerottolo (x=da l1+l2+l3 a l1+l2+l3+l4)
- La quinta zona va dall'inizio del secondo pianerottolo all'inizio della terza rampa (x=da l1+l2+l3+l4 a l1+l2+l3+l4+l5)
- La sesta zona va dall'inizio della terza rampa fino all'inizio dell'ultimo pianerottolo (x=da l1+l2+l3+l4+l5 a l1+l2+l3+l4+l5+l6)
- La settima zona va dall'inizio dell'ultimo pianerottolo fino all'appoggio B (x=da l1+l2+l3+l4+l5+l6 a l1+l2+l3+l4+l5+l6+l7)

Per il calcolo del momento di flessione:

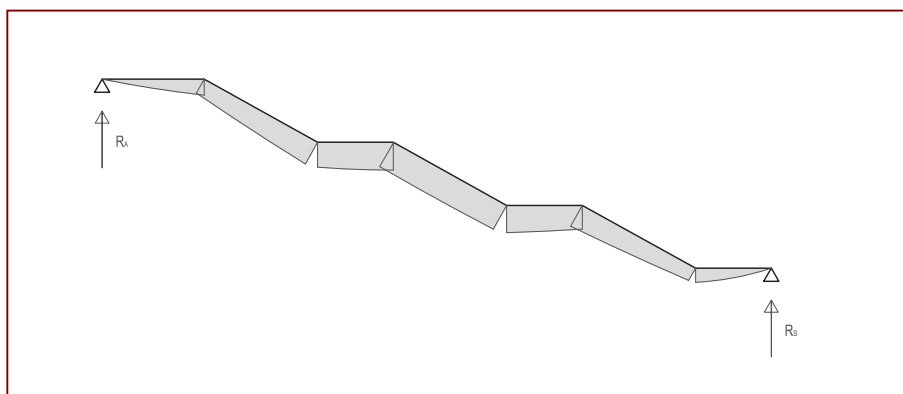


Figura 5.40 - Diagramma dei momenti di flessione nella trave del vano scala.

$$M_1 = -\frac{p \times x_1^2}{2} + R_A \times x_1$$

$$M_2 = -\frac{p \times \cos^2 \alpha \times x_2^2}{2} + V'_A \times (l_1 \times \cos \alpha + x_2) + H'_A \times l_1 \times \sin \alpha - p \times \left(\frac{l_1}{2} + x_2 \times \cos \alpha\right) \times l_1$$

$$M_3 = -\frac{p \times x_3^2}{2} + R_A \times (x_3 + l_1 + l_2) - p \times \left[\frac{(l_1 + l_2)}{2} + x_3\right] \times (l_1 + l_2)$$

$$M_4 = -\frac{p \times \cos^2 \alpha \times x_4^2}{2} + V'_A \times \left[\left(l_1 \times \cos \alpha + \frac{l_2}{\cos \alpha} + l_3 \times \cos \alpha\right) + x_4\right] + H'_A \times (l_1 + l_3) \times \sin \alpha - p \times \left[\frac{l_1 + l_2 \times \cos \alpha + l_3}{2} + x_4 \times \cos \alpha\right] \times (l_1 + l_2 \times \cos \alpha + l_3)$$

$$M_5 = -\frac{p \times (l_5 - x_5)^2}{2} - p \times \left[\frac{(l_7 + l_6)}{2} + (l_5 - x_5)\right] \times (l_7 + l_6) + R_B \times [l_7 + l_6 + (l_5 - x_5)]$$

$$M_6 = -\frac{p \times \cos^2 \alpha \times \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6\right)^2}{2} + V'_B \times \left[l_7 \times \cos \alpha + \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6\right)\right] + H'_A \times l_7 \times \sin \alpha - p \times \left[\frac{l_7}{2} + \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6\right) \times \cos \alpha\right] \times l_7$$

$$M_7 = -\frac{p \times (l_7 - x_7)^2}{2} + R_B \times (l_7 - x_7)$$

Per il calcolo del taglio:

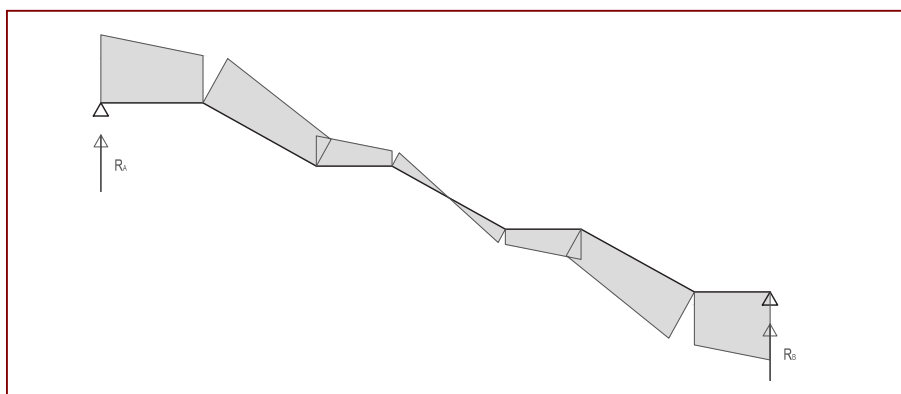


Figura 5.41 - Diagramma del taglio nella trave del vano scala.

$$V_1 = -p \times x_1 + R_A$$

$$V_2 = -p \times \cos^2 \alpha \times x_2 + V'_A - p \times \cos \alpha \times l_1$$

$$V_3 = -p \times x_3 + R_A - p \times (l_1 + l_2)$$

$$V_4 = -p \times \cos^2 \alpha \times x_4 + V'_A - p \times \cos \alpha \times (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$V_5 = +p \times (l_5 - x_5) - R_B + p \times (l_6 + l_7)$$

$$V_6 = +p \times \cos^2 \alpha \times \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6 \right) - V'_B + p \times \cos \alpha \times l_7$$

$$V_7 = +p \times (l_7 - x_7) - R_B$$

Per il calcolo dello sforzo normale:

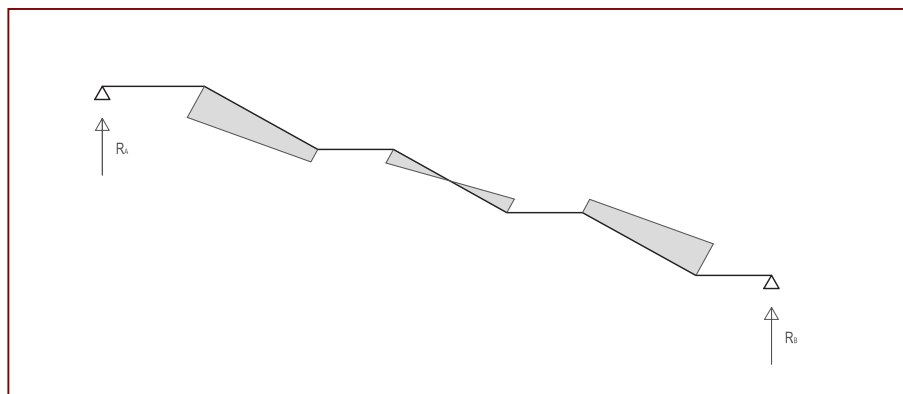


Figura 5.42 - Diagramma dello sforzo normale nella trave del vano scala.

$$N_1 = N_3 = N_5 = N_7 = 0$$

$$N_2 = -H'_A + p \times \sin \alpha \times l_1 + p \times \cos \alpha \times \sin \alpha \times x_2$$

$$N_4 = -H'_A + p \times \sin \alpha \times (l_1 + l_2 + l_3) + p \times \cos \alpha \times \sin \alpha \times x_4$$

$$N_6 = +H'_B - p \times \sin \alpha \times l_7 - p \times \cos \alpha \times \sin \alpha \times \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6 \right)$$

Questi calcoli danno le variazioni di sollecitazioni nella trave di calcolo queste sollecitazioni danno una tensione nel materiale che deve essere inferiore al valore di resistenza del materiale.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carico lineare allo SLU	p_{SLU}	5,931	kN/ml
Carico lineare allo SLE	p_{SLE}	4,127	kN/ml
Lunghezza orizzontale della parte 1	l_1	2,70	m
Lunghezza orizzontale della parte 2	l_2	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 3	l_3	2,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 4	l_4	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 5	l_5	2,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 6	l_6	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 7	l_7	2,00	m
Angolo delle trave inclinate	α	29	°
Reazione ai appoggi	R_A	52	kN
Proiezione secondo l'asse perpendicolare delle trave inclinate	V'_A	46	kN
Proiezione secondo l'asse perpendicolare delle trave inclinate	H'_A	26	kN
Momento Massimo nella trave del vano scala	M_{max}	232	kNm
Taglio massimo nella trave del vano scala	V_{max}	52	kN
Sforzo normale massimo nella trave del vano scala	N_{max}	20	kN

Prospetto 5.23 - Calcolo delle sollecitazioni nella trave del vano scala.

Calcolo delle tensioni dovuti alle sollecitazioni

Le tensioni dovute alle sollecitazioni sono calcolate secondo un semplice calcolo di resistenza dei materiali.

La tensione dovuta al momento di flessione è calcolata secondo l'equazione:

$$\sigma_{m,0,y} = \frac{M_{y,max}}{W_y} = \frac{M_{y,max} \times \frac{h}{2}}{I}$$

La tensione dovuta al taglio è calcolata secondo l'equazione:

$$\tau_d = \frac{V_{y,max}}{A_s}$$

La tensione dovuta allo sforzo normale è calcolata secondo l'equazione:

$$\sigma_{c,0,z} = \frac{N_{max}}{A}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T-A,y}$	3,499E-02	m ⁴
Altezza della trave	h	1,25	m
Tensione dovuto al Momento di flessione Max	$\sigma_{m,0,y}$	4,1	N/mm ²
Resistenza alla flessione secondo l'asse y ^(5,27)	$f_{m,0,d,y}$	24,6	N/mm ²
Verifiche $\sigma_{m,0,y} < f_{m,0,d,y}$ ^(5,28)			Si

Prospetto 5.24 - Verifiche di tensione dovuta al momento di flessione per lo SLU nella trave del vano scala.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Superficie resistente al taglio per la trave del solaio A ^(5,30)	$A_{S,T-A}$	0,1801	m ²
Tensione dovuto al Taglio max	τ_d	0,29	N/mm ²
Resistenza al taglio secondo l'asse y ^(5,27)	$f_{v,0,d}$	2,3	N/mm ²
Verifiche $\tau_d < f_{v,0,d}$ ^(5,29)			SI
Superficie della trave	A_{T-A}	0,2688	m ²
Tensione dovuto al Momento di flessione Max	$\sigma_{c,0,y}$	0,07	N/mm ²
Resistenza di disegno alla flessione secondo l'asse y ^(5,27)	$f_{c,0,d,z}$	16,2	N/mm ²
Verifiche $\sigma_{c,0,y} < f_{c,0,d,z}$ ^(5,29)			SI

Prospetto 5.25 - Verifiche di tensione dovuta al taglio e allo sforzo normale per lo SLU nella trave del vano scala.

$$\begin{aligned} \sigma_{m,0,y} &< f_{m,0,y} \\ \tau_d &< f_{v,0,d} \\ \sigma_{c,0,y} &< f_{c,0,d} \end{aligned}$$

Calcolo della freccia nella trave

Per questo calcolo abbiamo usato il principio dei lavori virtuali per calcolare la deformazione massima della trave.

Prendiamo quindi un sistema equivalente con una forza unitaria puntuale al centro della trave di calcolo. Abbiamo valutato la freccia sia dovuta al momento di flessione sia dovuta allo sforzo di taglio. La freccia dovuta allo sforzo normale non è presa in conto perché è troppo piccola.

I diagrammi di momento di flessione e di taglio sono i seguenti:

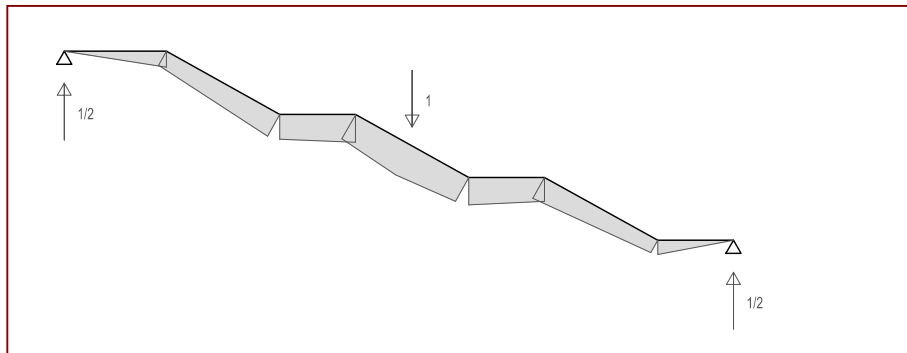


Figura 5.43 - Diagramma del momento per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.

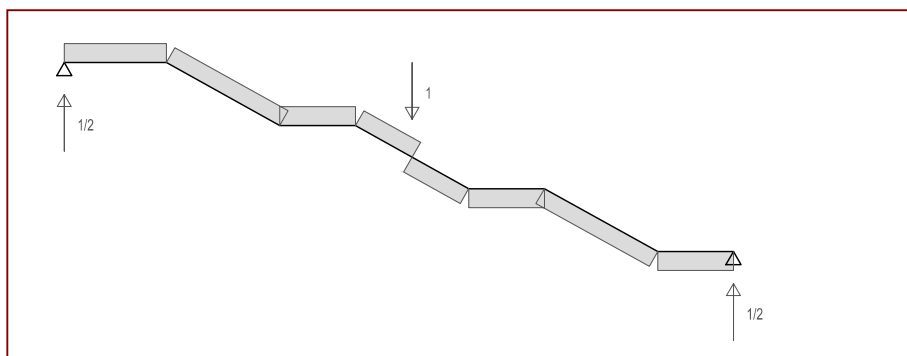


Figura 5.44 - Diagramma del taglio per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Sistemi equivalente con carico unitario	P	1	-
Lunghezza orizzontale della parte 1	l_1	2,70	m
Lunghezza orizzontale della parte 2	l_2	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 3	l_3	2,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 4	l_4	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 5	l_5	2,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 6	l_6	3,00	m
Lunghezza orizzontale della parte 7	l_7	2,00	m
Angolo delle trave inclinate	α	29	°
Reazione ai appoggi	R_A	0,50	-
Proiezione secondo l'asse perpendicolare delle trave inclinate	V'_A	0,44	-
Proiezione secondo l'asse perpendicolare delle trave inclinate	H'_A	0,24	-

Prospetto 5.26 - Calcolo delle sollecitazioni per il calcolo del metodo delle forze.

I calcoli di momento divengono:

$$M_1 = R_A \times x_1$$

$$M_2 = V'_A \times (l_1 \times \cos \alpha + x_2) + H'_A \times l_1 \times \sin \alpha$$

$$M_3 = R_A \times (x_3 + l_1 + l_2)$$

$$M_4 = V'_A \times \left[\left(l_1 \times \cos \alpha + \frac{l_2}{\cos \alpha} + l_3 \times \cos \alpha \right) + x_4 \right] + H'_A \times (l_1 + l_3) \times \sin \alpha$$

$$M_4 = V'_B \times \left[\left(l_7 \times \cos \alpha + \frac{l_6}{\cos \alpha} + l_5 \times \cos \alpha \right) + \left(\frac{l_4}{\cos \alpha} - x_4 \right) \right] + H'_B \times (l_7 + l_5) \times \sin \alpha$$

$$M_5 = R_B \times [l_7 + l_6 + (l_5 - x_5)]$$

$$M_6 = V'_B \times \left[l_7 \times \cos \alpha + \left(\frac{l_6}{\cos \alpha} - x_6 \right) \right] + H'_A \times l_7 \times \sin \alpha$$

$$M_7 = R_B \times (l_7 - x_7)$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Momento di flessione a sinistra della parte 1	M_{1g}	0,00	-
Momento di flessione a destra della parte 1	M_{1d}	1,35	-
Momento di flessione a sinistra della parte 2	M_{2g}	1,35	-
Momento di flessione a destra della parte 2	M_{2d}	2,85	-
Momento di flessione a sinistra della parte 3	M_{3g}	2,85	-
Momento di flessione a destra della parte 3	M_{3d}	3,85	-
Momento di flessione a sinistra della parte 4	M_{4g}	3,85	-
Momento di flessione al centro della parte 4	M_{4c}	4,60	-
Momento di flessione a destra della parte 4	M_{4d}	3,50	-
Momento di flessione a sinistra della parte 5	M_{5g}	3,50	-
Momento di flessione a destra della parte 5	M_{5d}	2,50	-
Momento di flessione a sinistra della parte 6	M_{6g}	2,50	-
Momento di flessione a destra della parte 6	M_{6d}	1,00	-
Momento di flessione a sinistra della parte 7	M_{7g}	1,00	-
Momento di flessione a destra della parte 7	M_{7d}	0,00	-

Prospetto 5.27 - Valore dei momenti di flessione secondo la posizione di calcolo e la loro parte per il calcolo del metodo delle forze.

Il calcolo prende in conto i momenti calcolati per la trave sottomessa ai carichi secondo i coefficienti dello SLE.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Momento di flessione a sinistra della parte 1	M_{1g}	0	kNm
Momento di flessione al centro della parte 1	M_{1c}	46	kNm
Momento di flessione a destra della parte 1	M_{1d}	84	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 2	M_{2g}	84	kNm
Momento di flessione al centro della parte 2	M_{2c}	117	kNm
Momento di flessione a destra della parte 2	M_{2d}	141	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 3	M_{3g}	141	kNm
Momento di flessione al centro della parte 3	M_{3c}	152	kNm
Momento di flessione a destra della parte 3	M_{3d}	159	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 4	M_{4g}	159	kNm
Momento di flessione al centro della parte 4	M_{4c}	161	kNm
Momento di flessione a destra della parte 4	M_{4d}	155	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 5	M_{5g}	155	kNm
Momento di flessione al centro della parte 5	M_{5c}	145	kNm
Momento di flessione a destra della parte 5	M_{5d}	131	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 6	M_{6g}	131	kNm
Momento di flessione al centro della parte 6	M_{6c}	103	kNm
Momento di flessione a destra della parte 6	M_{6d}	65	kNm
Momento di flessione a sinistra della parte 7	M_{7g}	65	kNm
Momento di flessione al centro della parte 7	M_{7c}	34	kNm
Momento di flessione a destra della parte 7	M_{7d}	0	kNm

Prospetto 5.28 - Valore dei momenti di flessione secondo la posizione di calcolo per la trave del vano scala allo SLE.

Per ogni parte le sollecitazioni hanno un effetto sulla freccia massima della trave. Per il momento di flessione l'effetto è preso in conto con le equazioni seguenti:

- Per le parte 1-2-3-5-6-7

$$\delta_M = \frac{1}{6} \times [\overline{M_G} \times (M_G + 2 \times M_C) + \overline{M_D} \times (M_D + 2 \times M_C)] \times \frac{l}{EI}$$

- Per la parte 4

$$\delta_M = \frac{5}{12} \times [\overline{M_C} \times M_C] \times \frac{l}{EI}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y (5.25)	$E_{d,y}$	10960	N/mm ²
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y (5.26)	$G_{d,y}$	680	N/mm ²
Superficie della trave del solaio A	A_{T5}	0,269	m ²
Superficie utile della trave per il taglio	$A_{S,T5}$	0,180	m ²
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T5,y}$	3,50E-02	m ⁴
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 1	$\bar{\delta}_{M1}$	1,66E-03	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 2	$\bar{\delta}_{M2}$	1,17E-02	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 3	$\bar{\delta}_{M3}$	1,59E-02	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 4	$\bar{\delta}_{M4}$	2,42E-03	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 5	$\bar{\delta}_{M5}$	1,36E-02	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 6	$\bar{\delta}_{M6}$	7,82E-03	m
Deformazione dovuto alla flessione nella parte 7	$\bar{\delta}_{M7}$	9,41E-04	m

Prospetto 5.29 - Valore delle deformazioni dovute al momento di flessione.

I calcoli di taglio divengono:

$$V_{4-2} = V_6 = -V'_B$$

$$V_1 = V_3 = R_A$$

$$V_7 = V_5 = -R_B$$

$$V_2 = V_{4-1} = V'_A$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Taglio a sinistra della parte 1	V_{1g}	0,50	-
Taglio a destra della parte 1	V_{1d}	0,50	-
Taglio a sinistra della parte 2	V_{2g}	0,44	-
Taglio a destra della parte 2	V_{2d}	0,44	-
Taglio a sinistra della parte 3	V_{3g}	0,50	-
Taglio a destra della parte 3	V_{3d}	0,50	-
Taglio a sinistra della parte 4	V_{4g}	0,44	-
Taglio a destra della parte 4	V_{4d}	-0,44	-
Taglio a sinistra della parte 5	V_{5g}	-0,50	-
Taglio a destra della parte 5	V_{5d}	-0,50	-
Taglio a sinistra della parte 6	V_{6g}	-0,44	-
Taglio a destra della parte 6	V_{6d}	-0,44	-
Taglio a sinistra della parte 7	V_{7g}	-0,50	-
Taglio a destra della parte 7	V_{7d}	-0,50	-

Prospetto 5.30 - Valore dei tagli secondo la posizione di calcolo per il calcolo del metodo delle forze.

Il calcolo prende in conto i momenti calcolati per la trave sottomessa ai carichi secondo i coefficienti dello SLE.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Taglio a sinistra della parte 1	V_{1g}	37	kN
Taglio a destra della parte 1	V_{1d}	25	kN
Taglio a sinistra della parte 2	V_{2g}	22	kN
Taglio a destra della parte 2	V_{2d}	14	kN
Taglio a sinistra della parte 3	V_{3g}	13	kN
Taglio a destra della parte 3	V_{3d}	5	kN
Taglio a sinistra della parte 4	V_{4g}	4	kN
Taglio a destra della parte 4	V_{4d}	-5	kN
Taglio a sinistra della parte 5	V_{5g}	-8	kN
Taglio a destra della parte 5	V_{5d}	-16	kN
Taglio a sinistra della parte 6	V_{6g}	-14	kN
Taglio a destra della parte 6	V_{6d}	-25	kN
Taglio a sinistra della parte 7	V_{7g}	-28	kN
Taglio a destra della parte 7	V_{7d}	-37	kN

Prospetto 5.31 - Valore del taglio secondo la posizione di calcolo per la trave del vano scala allo SLE.

Per ogni parte le sollecitazioni hanno un effetto sulla freccia massima della trave. Per il taglio l'effetto è preso in conto con le equazioni seguenti:

- Per le parte 1-2-3-5-6-7:

$$\delta_V = \frac{1}{2} \times [\bar{V} \times (V_G + V_D)] \times \frac{l}{GA_S}$$

- Per la parte 4:

$$\delta_V = \left[\frac{1}{2} \times [\bar{V} \times (V_G + V_C)] \times \frac{l}{2 \times GA_S} \right] + \left[\frac{1}{2} \times [\bar{V} \times (V_C + V_D)] \times \frac{l}{2 \times GA_S} \right]$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Modulo di Elasticità di Young di disegno secondo l'asse y (5.25)	$E_{d,y}$	10960	N/mm ²
Modulo di Taglio di disegno secondo l'asse y (5.26)	$G_{d,y}$	680	N/mm ²
Superficie della trave del solaio A	A_{T5}	0,269	m ²
Superficie utile della trave per il taglio	$A_{S,T5}$	0,180	m ²
Inerzia della trave del solaio A secondo l'asse y	$I_{T5,y}$	3,50E-02	m ⁴
Deformazione dovuto al taglio nella parte 1	$\bar{\delta}_{V1}$	3,41E-04	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 2	$\bar{\delta}_{V2}$	1,92E-04	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 3	$\bar{\delta}_{V3}$	7,25E-05	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 4	$\bar{\delta}_{V4}$	2,53E-05	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 5	$\bar{\delta}_{V5}$	9,61E-05	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 6	$\bar{\delta}_{V6}$	2,06E-04	m
Deformazione dovuto al taglio nella parte 7	$\bar{\delta}_{V7}$	2,65E-04	m

Prospetto 5.32 - Valore delle deformazioni dovute al taglio

Nome	Notazione	Valore	Unità
Deformazione dovute al momento di flessione	δ_M	5,41E-02	m
Deformazione dovute al taglio	δ_V	1,20E-03	m
Freccia massima della trave del vano scala	δ	5,53E-02	m
Valore di riferimento per la freccia (=l/250)	δ_{ref}	7,08E-02	m
Verifiche $\delta < \delta_{ref}$			SI

Prospetto 5.33 - Valore della deformazione massima della trave.

$$\delta_m + \delta_v < \delta_{ref}$$

Le verifiche fatte per la trave del vano scala mostrano che la trave è ben definita per il carico. Vediamo che abbiamo ancora dello spazio per ridurre l'altezza della trave, ma la scelta architettonica è fatta in modo tale che la trave serve anche di parapetto per la scala.

L'attacco degli elementi di legno lamellare per la scala è situato in basso dalla trave portante, potrebbe essere interessante di valutare la resistenza degli elementi di attacco.

CALCOLI DI TRAVI PRINCIPALI

Il dimensionamento delle travi di precompressione è stato fatto seguendo lo stesso metodo per tutte le travi principali. In questa parte spiegheremo dunque un unico predimensionamento. La trave scelta è quella della parte nord della collezione verso l'atrio centrale.

Per il calcolo abbiamo seguito un metodo che si riferisce alle NTC italiane, l'Eurocodice 2 sulla progettazione degli elementi in calcestruzzo armato e precompresso (cap).

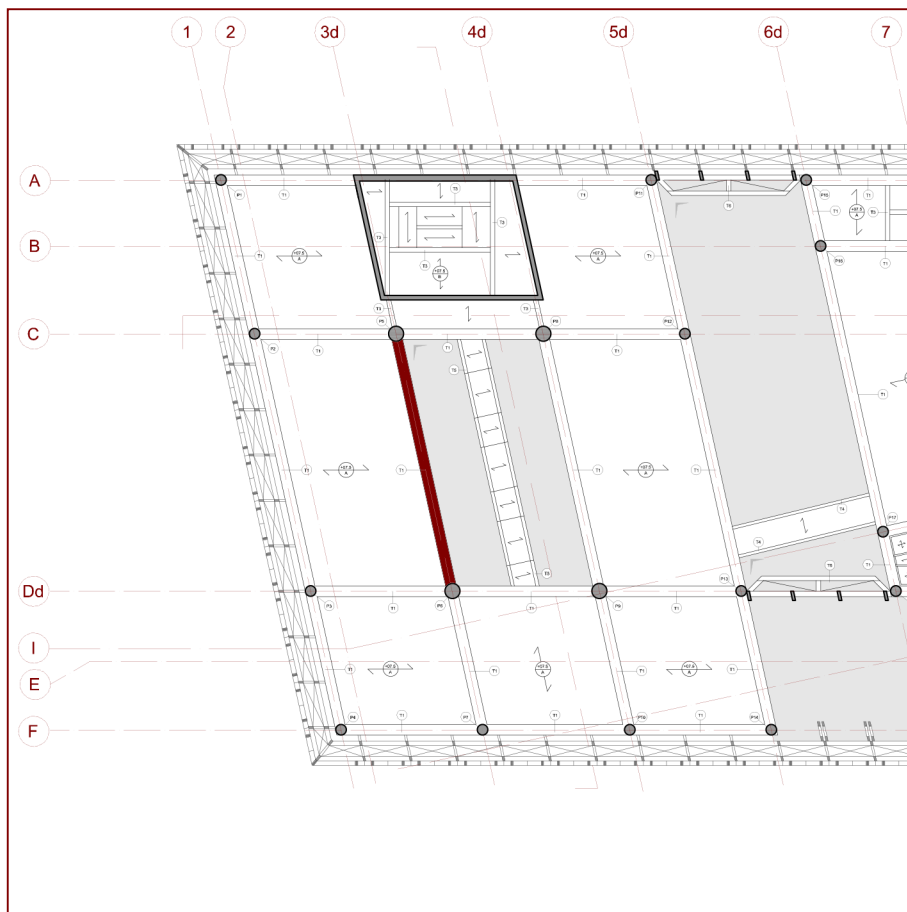


Figura 5.45 - Posizione dell'area di calcolo - Trave in cls precompresso.

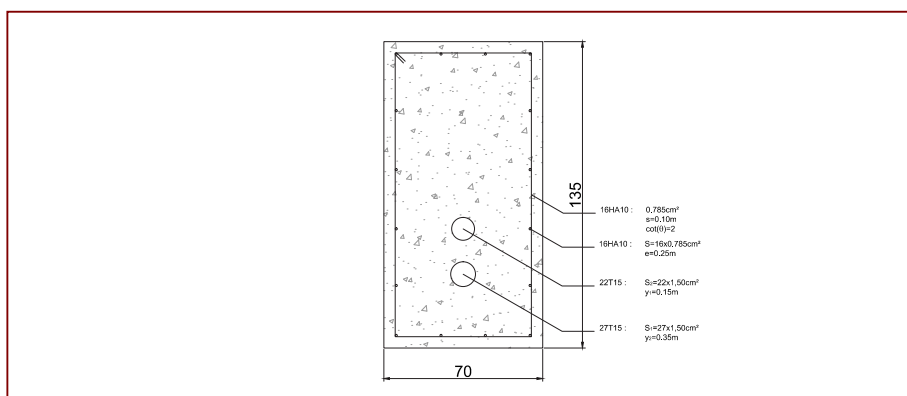


Figura 5.46 - Sezione della trave in cls precompresso.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Altezza trave T1	h_{T1}	1,35	m
Larghezza trave T1	b_{T1}	0,70	m
Posizione centro di gravità	z_G	0,35	m
Posizione centro di gravità	y_G	0,68	m
Perimetro della sezione	u	4,10	m
Superficie della trave	A_{T2-1}	0,95	m ²
Inerzia della trave T1 secondo l'asse y	$I_{T1,y}$	0,144	m ⁴
Inerzia della trave T1 secondo l'asse z	$I_{T1,z}$	0,039	m ⁴

Prospetto 5.34 - Caratteristiche geometriche della trave in calcestruzzo precompresso

Nome	Notazione	Valore	Unità
Classe strutturale	-	S5	-
Classe di esposizione	-	XS1	-
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica del calcestruzzo ^(5.31)	f_{ck}	50,00	MPa
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo ^(5.31)	f_{cm}	58,00	MPa
Resistenza caratteristica a trazione assiale del calcestruzzo al 5% frattile ^(5.31)	$f_{ctk,0,05}$	2,90	MPa
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	4,10	MPa
Modulo d'elasticità ^(5.31)	E_{cm}	37000	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo ^(5.8)	γ_c	1,50	-
Valore di progetto di resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo ^(5.32)	f_{cd}	33,33	MPa
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo ^(5.31)	f_{ctm}	4,10	MPa
Valore di progetto della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo ^(5.31)	f_{ctd}	1,91	MPa
Valore di trazione massima	σ_c	5,33	MPa
Deformazione massima del calcestruzzo ^(5.31)	ϵ_{cu}	3,50	‰
Massa volumica del calcestruzzo	ρ_c	24,00	kN/m ³

Prospetto 5.35 - Caratteristiche del calcestruzzo per la trave T1.

Ref 5.31 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 3.1
 Ref 5.32 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.15

Nome	Notazione	Valore	Unità
Resistenza a trazione assiale del acciaio di armatura ordinaria caratteristica	f_{yk}	500,00	MPa
Resistenza a trazione assiale del acciaio di armatura ordinaria di progetto	f_{yd}	434,78	MPa
Resistenza caratteristica a trazione delle armatura di precompressione	f_{ptk}	1860,00	MPa
Resistenza di progetto a trazione delle armatura di precompressione	f_{pd}	1455,65	MPa
Deformazione caratteristica al carico ^(5.33)	ϵ_{uk}	50,00	‰
Deformazione di progetto al carico ^(5.34)	ϵ_{uk}	45,00	‰
Valore di tensione nel armatura subito dopo la mesa in precompressione ^(5.35)	σ_{pm0}	1440,00	MPa
Modulo d'elasticità del acciaio di precompressione ^(5.36)	E_p	195000	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio di precompressione	γ_s	1,15	-

Prospetto 5.36 - Caratteristiche dell'acciaio di precompressione per la trave T1.

Ref 5.33 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto C.1

Calcolo delle Combinazioni d'azioni

I carichi presi in conto nel calcolo sono definiti dalla geometria e dai diversi carichi imposti al solaio:

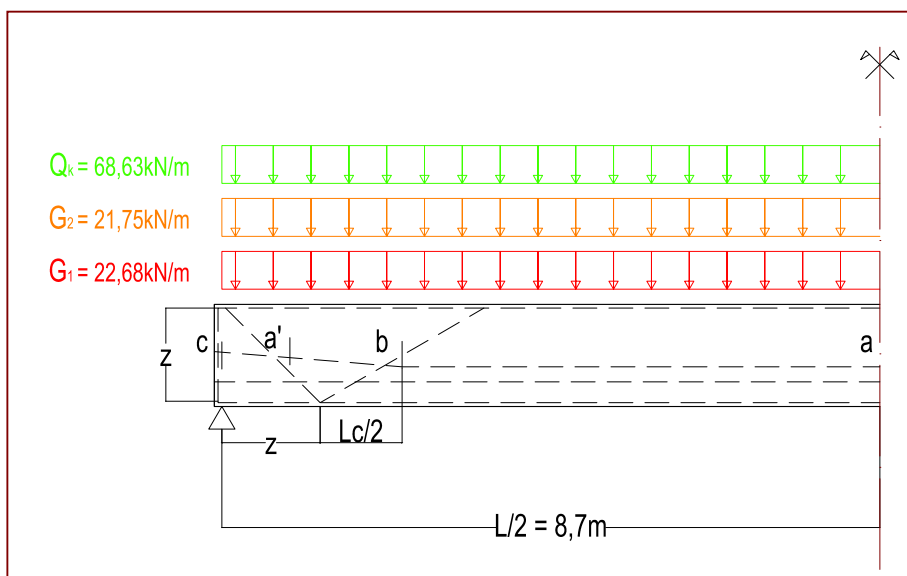


Figura 5.47 - Carico e posizione delle sezioni di calcolo nella trave in cls precompresso.

La trave in calcestruzzo armato precompresso è soggetta a quattro carichi lineari.

- Il primo è il carico di peso proprio della trave in calcestruzzo.
- Il secondo è il peso proprio della struttura dei solai che sono appoggiati sulla struttura.
- Il terzo è i sovraccarichi permanenti del solaio CO2.
- L'ultimo è i sovraccarichi dovuti all'esercizio.

Questi carichi sono separati in tre carichi per il calcolo della trave di calcestruzzo armato precompresso (cap).

- Il peso proprio della trave
- I sovraccarichi permanenti
- I sovraccarichi variabili.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Peso proprio lineare della trave principale	G_1	22,68	kN/ml
Peso proprio lineare della struttura del solaio tipo A	g_{1-2}	0,51	kN/m ²
Interasse della trave principale	e	9,15	m
Peso proprio della trave secondaria sulla trave principale	G_{1-2}	4,69	kN/ml
Peso proprio della parte non strutturale del solaio	g_2	1,86	kN/m ²
Peso proprio lineare della parte non strutturale del solaio	G_2	17,06	kN/ml
Sovraccarico di esercizio	q_{k1}	7,50	kN/m ²
Sovraccarico lineare di esercizio	Q_{k1}	68,63	kN/ml
Carichi di peso proprio	g'	22,68	kN/ml
Carichi di sovraccarichi permanenti	g''	21,75	kN/ml
Carichi di sovraccarichi variabili	q	68,63	kN/ml

Prospetto 5.37 - Calcolo dei carichi e sovraccarichi sulla trave in cls precompresso.

Sezioni di calcolo

La trave è simmetrica dal punto di vista della geometria e dei carichi, quindi i calcoli fatti in questa parte e nelle seguenti portarono sulla meta della trave.

Le sezioni di calcolo che sono prese in conto:

- Sezione di momento massimo (a) situato alla meta della trave.
- Sezione di momento minimo (a') gancio di sollevamento
- Sezione di taglio massimo (b) situato vicino all'appoggio
- Sezione d'appoggio (c)

In fine le sezioni sono situate nelle posizioni indicate nella tabella seguente secondo le equazioni:

$$x_a = \frac{L}{2}$$

$$x_{a'} = 0,9m$$

$$x_b = \frac{z \times \cot(\theta)}{2}$$

$$x_c = 0m$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Sezione di momento massimo	a	8,70	m
Sezione di taglio massimo	b	1,80	m
Sezione d'appoggio	c	0,00	m
Sezione di momento minimo	a'	0,90	m

Prospetto 5.38 - Posizione delle sezioni di calcolo.

Fasi di calcolo

Per il calcolo della trave diverse fasi sono da verificare:

- Fase iniziale di precompressione:

La trave è soggetta unicamente al suo peso proprio e allo sforzo di precompressione

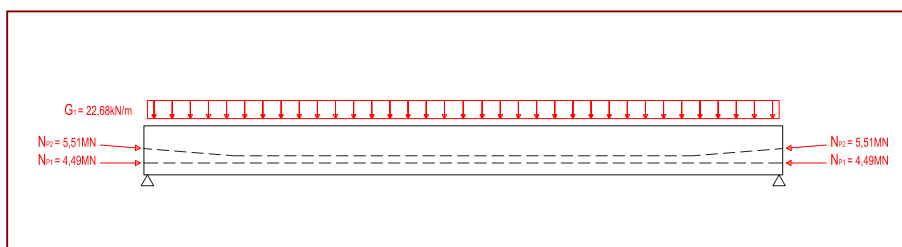


Figura 5.48 - Trave in fase iniziale.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carichi di peso proprio	g'	22,68	kN/ml
Luce della trave	L	17,40	m
Sezione di momento massimo	a	8,70	m
Sezione di taglio massimo	b	1,80	m
Sezione di variazione di armatura	d	3,72	m
Reazione di appoggio	R'	0,20	MN
Massimo momento	M'_a	0,86	MNm
Massimo Taglio	V'_b	0,16	MN

Prospetto 5.39 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase iniziale.

- Fase transitoria di sollevamento:

Gli effetti sulla trave sono dinamici la trave è sollevata per essere messa alla sua posizione

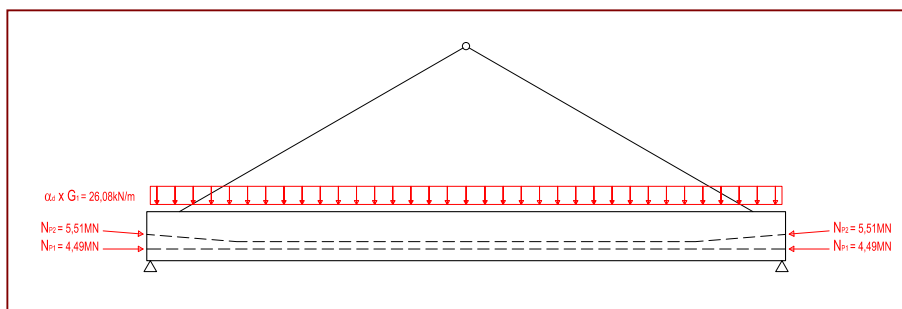


Figura 5.49 - Trave in fase transitoria di sollevamento.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carichi di peso proprio	g'	22,68	kN/ml
Luce della trave	L	17,40	m
Sezione di momento minimo	a'	0,90	m
Sezione di variazione di armatura	d	3,72	m
Reazione di appoggio	R'	0,20	MN
Momento di sollevamento	M_0	-9,19	kNm

Prospetto 5.40 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase transitoria.

- Fase incrementale di calcolo delle perdite:

Il valore dello sforzo di precompressione si modifica con perdite immediate che sono le perdite dovute alla deformazione istantanea del calcestruzzo.

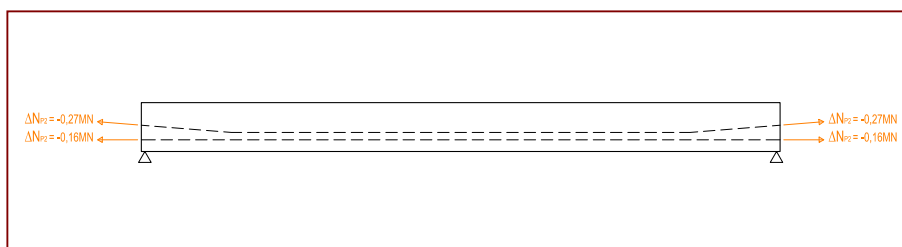


Figura 5.50 - Trave in fase incrementale di perdite immediate.

- Fase incrementale di calcolo dei carichi permanenti.

La trave è in posizione e aggiungiamo i carichi permanenti dovuti al peso proprio delle parte strutturale e non strutturale del solaio.

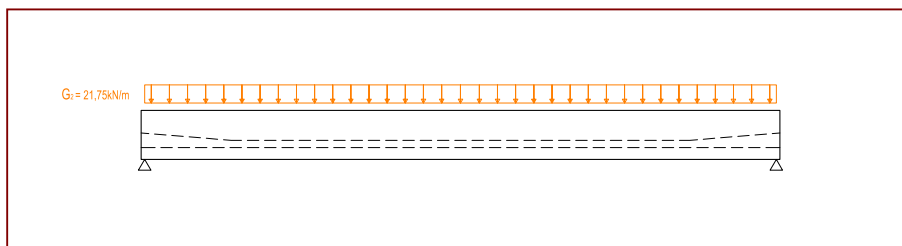


Figura 5.51 - Trave in fase incrementale di carichi permanenti.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carichi di sovraccarichi permanenti	g''	21,75	kN/ml
Luce della trave	L	17,40	m
Sezione di momento massimo	a	8,70	m
Sezione di taglio massimo	b	1,80	m
Sezione di variazione di armatura	d	3,72	m
Reazione di appoggio	R''	0,19	MN
Massimo momento	M''_a	0,82	MNm
Massimo Taglio	V''_b	0,15	MN

Prospetto 5.41 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).

- Fase incrementale di calcolo dei carichi variabili

La trave è in posizione e aggiungiamo i carichi variabili dovuti all'esercizio della funzione d'uso dell'edificio.

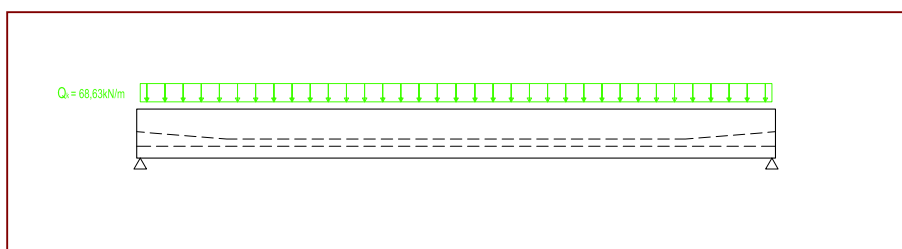


Figura 5.52 - Trave in fase incrementale di carichi variabili.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Sovraccarichi variabili	q	68,63	kN/ml
Luce della trave	L	17,40	m
Sezione di momento massimo	a	8,70	m
Sezione di taglio massimo	b	1,80	m
Sezione di variazione di armatura	d	3,72	m
Reazione di appoggio	R	0,60	MN
Massimo momento	M_a	2,60	MNm
Massimo Taglio	V_b	0,47	MN

Prospetto 5.42 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).

- Fase incrementale di calcolo delle perdite:

Il valore dello sforzo di precompressione si modifica con le perdite dovute alla viscosità del calcestruzzo, al ritiro e al rilassamento degli acciai che non possono essere presi in conto al livello immediato.

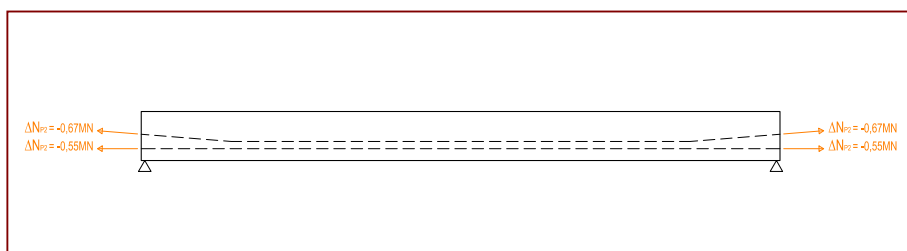


Figura 5.53 - Trave in fase incrementale di perdite .

Tesatura e posizione delle armature di acciaio precompresso

Il momento flettente agente è molto importante, in fase di calcolo per la resistenza strutturale il valore di questo momento è di 6,20MNm. Dobbiamo quindi scegliere il valore dello sforzo di precompressione e di eccentricità per riprendere questo momento, sapendo che la trave di calcestruzzo deve anche riprendere la tensione dovuta al momento nella fase iniziale.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Spessore di copriferro per acciai di armatura di precompresso	$c_{p,min}$	0,05	m
Posizione delle armature tese	d	1,30	m
Posizione delle armature di precompressione 1	d_1	1,00	m
Numero di armature di precompressione 1	n_{p1}	27	-
Diametro delle armature di precompressione 1	ϕ_{p1}	15,70	mm
Area delle armature di precompressione 1	A_{p1}	3300	mm ²
Posizione delle armature di precompressione 2	d_2	0,80	m
Numero di armature di precompressione 2	n_{p2}	22	-
Diametro delle armature di precompressione 2	ϕ_{p2}	15,70	mm
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	4050	mm ²
Resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione	f_{p2}	1860	MPa
Limite elastica a 0,1% di allungamento dell'acciaio da precompressione	$f_{p0,1k}$	1600	MPa
Valore di tensione nel armatura subito dopo la mesa in precompressione	σ_{pm0}	1360	MPa
Valore iniziale di precompressione	P_{m0}	10,00	MN

Prospetto 5.43 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).

È stato scelto per le armature di precompressione, due guaine di trefoli di acciaio di precompressione, la più alta sarà la più carica in acciaio con 27 trefoli e l'altra con l'eccentricità più grande sarà una guaina con 22 trefoli. Questi valori sono presi secondo le disponibilità costruttore per l'ancoraggio e le guaine di acciaio precompresso.

Di più l'eccentricità deve verificare che le guaine sono separate da una larghezza minima del loro diametro ($\varnothing=10\text{cm}$). L'ancoraggio deve avere ancora più di distanza fra le armature per causa della diffusione del carico nel calcestruzzo. Per questo abbiamo preso un abbaco costruttore che dà una distanza pari a 40cm fra i due punti di ancoraggio.

VERIFICHE DELLE TENSIONI NELLA SEZIONE A

Prima di tutto riprendiamo i valori di calcolo di geometria della sezione. La tabella seguente riprende i valori d'inerzia, della posizione del baricentro rispetto ai bordi della trave, i moduli di resistenza secondo la posizione nella trave e le posizioni delle guaine di acciai di precompressione.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Inerzia della trave T1 secondo l'asse y	$I_{T1,y}$	0,144	m^4
Posizione del baricentro rispetto al bordo superiore	y'_0	0,68	m
Posizione del baricentro rispetto al bordo inferiore	y''_0	0,68	m
Modulo resistente del bordo superiore	W'	0,213	m^3
Modulo resistente del bordo inferiore	W'	0,213	m^3
Posizione della guaina 1	y_1	0,35	m
Posizione della guaina 2	y_2	0,15	m
Modulo resistente sulla guaina 1	W_1	0,410	m^3
Modulo resistente sulla guaina 2	W_2	0,957	m^3

Prospetto 5.44 - Caratteristiche geometriche e moduli resistenti.

Di più di questi valori geometrici definiamo anche i valori di tensioni ammissibili nel calcestruzzo:

Nome	Notazione	Valore	Unità
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica del calcestruzzo ^(5.31)	f_{ck}	50,00	MPa
Compressione in esercizio	σ_c	22,50	MPa
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica a 20 giorni	$f_{ck}(20)$	48,20	MPa
Compressioni iniziali	σ_{cj}	21,69	MPa
Resistenza caratteristica a trazione assiale del calcestruzzo al 5% frattile ^(5.31)	$f_{ctk,0,05}$	2,90	MPa
Trazioni in esercizio	σ_{ct}	3,77	MPa
Resistenza caratteristica a trazione assiale del calcestruzzo al 5% frattile ^(5.31)	$f_{ctk,0,05}$	2,78	MPa
Trazioni iniziali	σ_{ctj}	3,62	MPa

Prospetto 5.45 - Valore di tensioni ammissibili.

$$\sigma_c = 0.45 \times f_{ck}$$

$$\sigma_{ct} = 0.45 \times f_{ck}(i)$$

$$\sigma_{ct} = 1.3 \times f_{ctk,0,05}$$

$$\sigma_{cti} = 1.3 \times f_{ctk,0,05}(i)$$

I valori di sezioni di acciai di precompressione definiti nella parte precedente sono la base dei calcoli delle azioni di precompressione (sforzo normale e momento flettente dovuto all'eccentricità di questo sforzo).

Queste sollecitazioni hanno un effetto sulle tensioni interne al livello della trave. In più

$$N_p = A_p \times \sigma_{pi}$$

$$M_{p1} = N_{p1} \times y_1$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Precompressione nella guaina 1	N_{p1}	4,49	MN
Posizione della guaina 1	y_1	0,35	m
Momento dovuto alla guaina 1	M_{p1}	1,57	MNm
Precompressione nella guaina 2	N_{p2}	5,51	MN
Posizione della guaina 2	y_2	0,15	m
Momento dovuto alla guaina 2	M_{p2}	0,83	MNm

Prospetto 5.46 - Sollecitazioni dovute agli acciai di precompressione.

delle sollecitazioni dobbiamo usare anche le sollecitazioni dovute al peso proprio della trave

$$M'_a = 0.86 \text{ MNm}$$

in fine

Nome	Notazione	Valore	Unità
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	3,34	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	17,81	N/mm
Tensione alla posizione della guaina 1	σ_{c1}	14,33	N/mm
Tensione alla posizione della guaina 2	σ_{c2}	12,19	N/mm

Prospetto 5.47 - Tensioni nella fase iniziale.

$$\begin{aligned} \sigma'_c &< \sigma_{ci} \\ \sigma''_c &< \sigma_{ci} \end{aligned}$$

Le equazioni sotto definiscono il metodo di calcolo per le due tensioni al bordo

$$\sigma' = \frac{N_p}{A} - \frac{(N_{p1} \times y_1 + N_{p2} \times y_2 - M'_a)}{W'}$$

$$\sigma'' = \frac{N_p}{A} + \frac{(N_{p1} \times y_1 + N_{p2} \times y_2 - M'_a)}{W''}$$

Il diagramma delle tensioni iniziali è rappresentato nelle figura sotto:

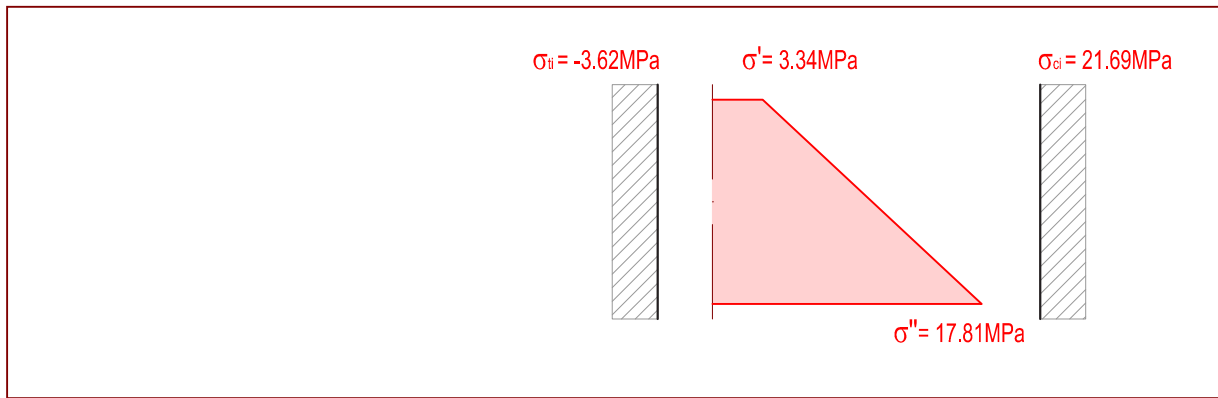


Figura 5.54 - Diagramma delle tensioni iniziali.

Studio delle perdite immediate

Le perdite immediate sono di diversi tipi, le prime sono le perdite dovute alla deformazione iniziale del calcestruzzo.

Ref 5.37 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 5.44

Nome	Notazione	Valore	Unità
Coefficiente che dipende dell'età del calcestruzzo ^(5.38)	$\beta_{cc}(20)$	0,96	-
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica	f_{ck}	50,00	MPa
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica a 20 giorni ^(5.38)	$f_{ck}(20)$	48,20	MPa
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo media a 20 giorni	$f_{cm}(20)$	56,20	MPa
Modulo d'elasticità del calcestruzzo al giorno 20	$E_{cm}(20)$	36,93	GPa
Valore iniziale di precompressione nella guaina 1	N_{p1}	5,51	MN
Valore iniziale di precompressione nella guaina 2	N_{p2}	4,49	MN
Superficie della sezione di calcestruzzo	A_c	0,95	m ²
Variazioni della tensione nel baricentro di armature di precompressione 1	$\Delta\sigma_{c,1}$	5,21	MPa
Variazioni della tensione nel baricentro di armature di precompressione 2	$\Delta\sigma_{c,2}$	4,24	MPa
Perdite dovute alla deformazione istantanea del calcestruzzo ^(5.37)	$\Delta\sigma_{el}$	24,94	MPa
Sezione delle armature di precompressione 1	A_{p1}	4050	mm ²
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	3300	mm ²
Perdite dovuto alla deformazione del calcestruzzo per le armature di precompressione 1	$\Delta P_{pel,1}$	101	kN
Perdite dovuto alla deformazione del calcestruzzo per le armature di precompressione 2	$\Delta P_{pel,2}$	82	kN

Prospetto 5.48 - Perdite dovute alla deformazione del calcestruzzo.

Ref 5.38 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.1

Queste perdite dipendono dall'età del calcestruzzo al momento delle messa in tensione delle armature di precompressione. Il calcolo della resistenza alla compressione secondo l'età del calcestruzzo è spiegato nel paragrafo 3.1.2 del Eurocodice 2.

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

La variazione della tensione nel calcestruzzo è dunque:

$$\Delta\sigma_{c1} = \frac{N_{p1}}{A_c}$$

La variazione dello sforzo di precompressione nelle armature di acciaio di precompressione diviene:

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot \sum \left[\frac{j \cdot \Delta\sigma_c(t)}{E_{cm}(t)} \right]$$

Il secondo tipo di perdite immediate è le perdite per attrito dovute al posizionamento delle armature di calcestruzzo.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione	f_{pk}	1860	MPa
Limite elastica a 0,1% di allungamento dell'acciaio da precompressione	$f_{p0,1k}$	1600	MPa
Valore di tensione nel armatura subito dopo la messa in precompressione	$\sigma_{p,max}$	1360	MPa
Coefficiente d'attrito tra l'armatura e la sua guaina ^(5.39)	μ	0,16	rad ⁻¹
Deviazione angolare non intenzionale per cavi interni	k	0,01	rad/m
Somma delle deviazioni angolari fino alla sezione b	θ_1	0,00	rad
Somma delle deviazioni angolari fino alla sezione a	θ_a	0,08	rad
Somma delle deviazioni angolari fino alla sezione 2	θ_2	0,16	rad
Posizione della sezione 1	x_1	0,00	m
Posizione della sezione a	x_a	8,70	m
Posizione della sezione 2	x_2	17,40	m
Sezione delle armature di precompressione 1	A_{p1}	4050	mm ²
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	3300	mm ²
Perdita per attrito alla sezione 1 nelle armature di precompressione 1 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,1}(x_1)$	0	kN
Perdita per attrito alla sezione a nelle armature di precompressione 1 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,1}(x_a)$	172	kN
Perdita per attrito alla sezione 2 nelle armature di precompressione 1 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,1}(x_2)$	339	kN
Perdita per attrito alla sezione 1 nelle armature di precompressione 2 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,2}(x_1)$	0	kN
Perdita per attrito alla sezione a nelle armature di precompressione 2 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,2}(x_a)$	74	kN
Perdita per attrito alla sezione 2 nelle armature di precompressione 2 ^(5.40)	$\Delta P_{\mu,2}(x_2)$	146	kN

Prospetto 5.49 - Perdite dovute all'attrito.

Ref 5.39 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Prospetto 5.1
 Ref 5.40 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 5.45

Il valore delle perdite per attrito delle armature di acciaio di precompressione è calcolato secondo l'equazione seguente:

$$\Delta P_{\mu}(x) = P_{\max}(1 - e^{-\mu(\theta + kx)})$$

In fine le perdite immediate hanno un effetto sullo sforzo di precompressione nelle armature di acciaio.

Questa variazione ha un effetto diretto sulla tensione nel calcestruzzo.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variatione di precompressione nella guaina 1	ΔN_{p1}	-0,27	MN
Posizione della guaina 1	y_1	0,35	m
Variatione del momento dovuto alla guaina 1	ΔM_{p1}	-0,10	MNm
Variatione di precompressione nella guaina 2	ΔN_{p2}	-0,16	MN
Posizione della guaina 2	y_2	0,15	m
Variatione del momento dovuto alla guaina 2	ΔM_{p2}	-0,02	MNm

Prospetto 5.50 - Variazioni di sollecitazioni immediate negli acciai di precompressione.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variatione di tensione sul bordo superiore	$\Delta \sigma'_c$	0,11	N/mm
Variatione di tensione sul bordo inferiore	$\Delta \sigma''_c$	-1,01	N/mm
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	3,45	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	16,80	N/mm

Prospetto 5.51 - Variazioni immediate di tensione negli acciai di precompressione.

In fine

$$\begin{aligned} \sigma'_c &< \sigma_{ci} \\ \sigma''_c &< \sigma_{ci} \end{aligned}$$

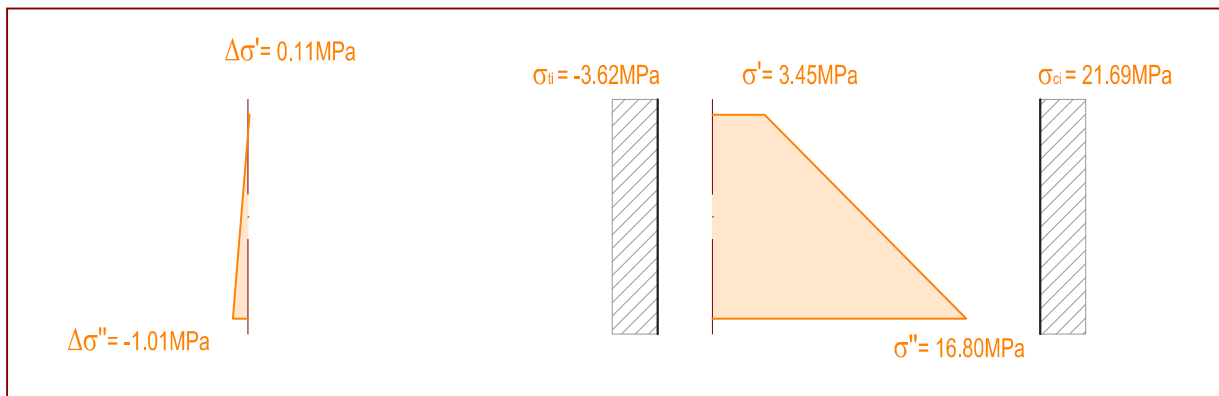


Figura 5.55 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di perdite immediate.

Le equazioni seguenti definiscono la variazione di tensione nel calcestruzzo dovuta alle perdite immediate:

$$\Delta \sigma'' = \frac{\Delta N_P}{A} + \frac{(\Delta N_{p1} \times y_1 + \Delta N_{p2} \times y_2)}{W''}$$

$$\Delta \sigma' = \frac{\Delta N_P}{A} - \frac{(\Delta N_{p1} \times y_1 + \Delta N_{p2} \times y_2)}{W'}$$

Fase incrementale: sovraccarichi permanenti

Le sollecitazioni da usare sono le sollecitazioni dovute ai sovraccarichi nella trave $M_a''=0.82\text{MNm}$.

Le tensioni che risultano di questo valore di momento sono definiti con le equazioni seguenti:

$$\Delta\sigma'' = -\frac{M''_a}{W''}$$

$$\Delta\sigma' = \frac{M''_a}{W'}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variazione di tensione sul bordo superiore	$\Delta\sigma'_c$	3,87	N/mm
Variazione di tensione sul bordo inferiore	$\Delta\sigma''_c$	-3,87	N/mm
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	7,32	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	12,93	N/mm

Prospetto 5.52 - Variazioni di tensione dovute ai sovraccarichi permanenti.

in fine

$$\sigma'_c < \sigma_{ci}$$

$$\sigma''_c < \sigma_{ci}$$

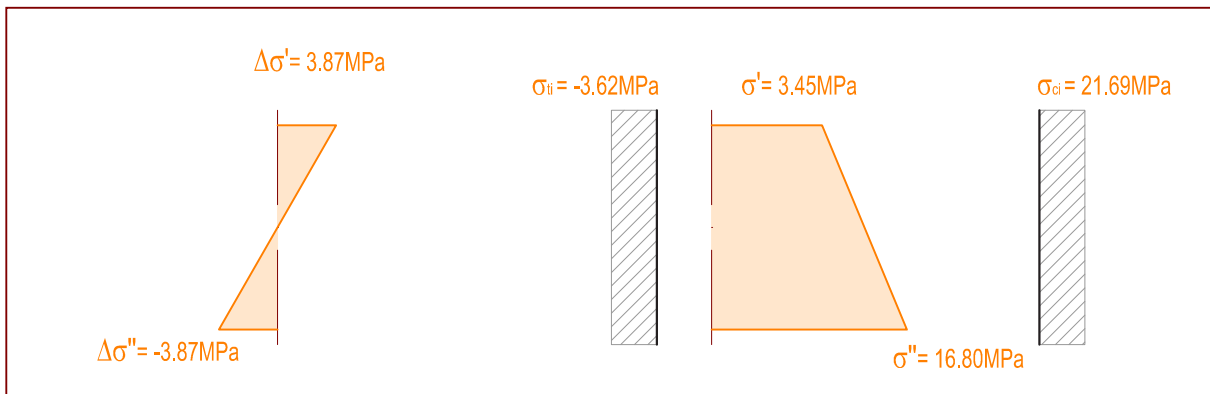


Figura 5.56 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di sovraccarichi permanente.

Fase incrementale: sovraccarichi variabili

Le sollecitazioni da usare sono le sollecitazioni dovute ai sovraccarichi nella trave $M_a=2,60\text{MNm}$

Le tensioni che risultano di questo valore di momento sono definiti con le equazioni seguenti:

$$\Delta\sigma' = \frac{M_a}{W'}$$

$$\Delta\sigma'' = -\frac{M_a}{W''}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variazione di tensione sul bordo superiore	$\Delta\sigma'_c$	12,21	N/mm
Variazione di tensione sul bordo inferiore	$\Delta\sigma''_c$	-12,21	N/mm
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	19,53	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	0,71	N/mm

Prospetto 5.53 - Variazioni di tensione dovute ai sovraccarichi variabili.

in fine

$$\sigma'_c < \sigma_c$$

$$\sigma''_c < \sigma_c$$

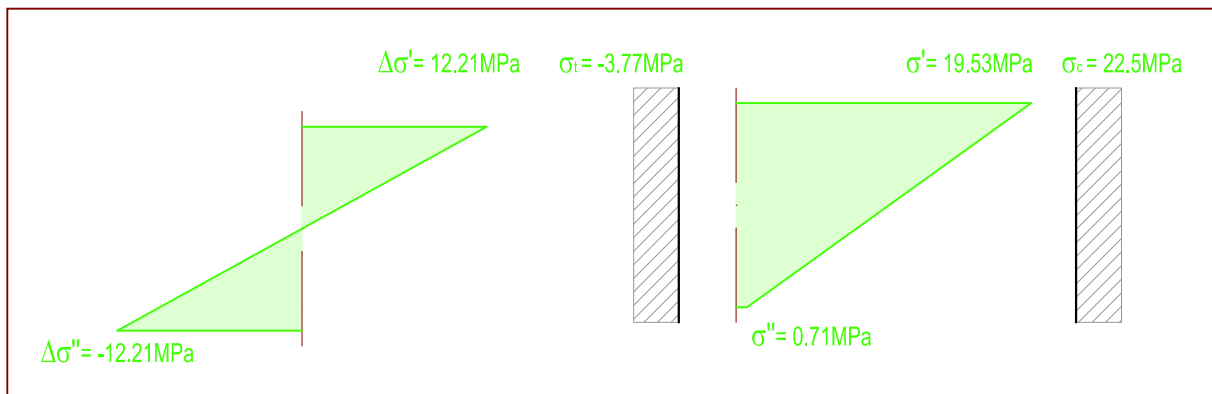


Figura 5.57 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di sovraccarichi variabili.

Fase incrementale: Perdite differite

Il primo tipo di perdite differite sono le perdite dovute al rilassamento delle armature di acciaio di precompressione. Questo valore dipende dalla classe di rilassamento dell'acciaio usato nelle armature, dal tempo per il calcolo di questo valore e dalla tensione applicata alle armature.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Classe di calcolo per la perdita per rilassamento	-	Classe 2	-
Valore di perdita per rilassamento a 1000h ^(5.41)	ρ_{1000}	2,50	%
Valore assoluto della tensione iniziale ^(5.41)	σ_{pi}	1360,00	MPa
Resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione	f_{pk}	1860,00	MPa
Rapporto di rilassamento	μ	0,73	-
Tempo dopo la messa in tensione ^(5.41)	t	500000,00	h
Funzione di rilassamento	$T(t,\mu)$	1792,19	
Perdite percentuale dovuto al rilassamento delle armature ^(5.42)	$\Delta\sigma_{pr\infty}$	4,48	%
Perdite dovuto al rilassamento delle armature ^(5.42)	$\Delta\sigma_{pr\infty}$	60,93	MPa
Sezione delle armature di precompressione 1	A_{p1}	4050	mm ²
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	3300	mm ²
Perdite dovuto al rilassamento nelle armature di precompressione 1	$\Delta P_{pr,1}$	247	kN
Perdite dovuto al rilassamento nelle armature di precompressione 2	$\Delta P_{pr,2}$	201	kN

Prospetto 5.54 - Perdite dovute al rilassamento delle armature di precompressione.

Ref 5.41 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Paragrafo 3.3.2

Ref 5.42 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.29

Questo valore di perdite è definito con l'equazione seguente:

$$\text{Classe 2 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \rho_{1\,000} e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1\,000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

Il secondo tipo di perdite differite è le perdite dovute al ritiro del calcestruzzo intorno alla posizione dell'ancoraggio delle armature di precompressione.

La deformazione totale da ritiro è formata da due componenti, la deformazione da ritiro per essiccamento e la deformazione da ritiro autogeno.

La deformazione da ritiro per essiccamento si sviluppa lentamente, perché è funzione della migrazione dell'acqua attraverso il calcestruzzo indurito.

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \varepsilon_{cd,0}$$

La deformazione da ritiro autogeno si sviluppa durante l'indurimento del calcestruzzo: la maggior parte si sviluppa quindi nei primi giorni successivi al getto.

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6}$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Deformazione da ritiro per essiccamento non contrastato ^(5.43)	ε_{cd0}	0,34	‰
Valore del coefficiente che dipende della altezza della trave ^(5.44)	k_h	0,70	-
Deformazione da ritiro per essiccamento ^(5.45)	$\varepsilon_{cd\infty}$	0,24	‰
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica	f_{ck}	50,00	MPa
Deformazione da ritiro autogeno ^(5.46)	$\varepsilon_{ca\infty}$	0,10	‰
Deformazione totale da ritiro ^(5.47)	$\varepsilon_{cs\infty}$	0,34	‰
Modulo d'elasticità del acciaio di precompressione	E_p	195,00	MPa
Perdite dovuto al ritiro del calcestruzzo	$\Delta\sigma_{pcs\infty}$	65,91	MPa
Sezione delle armature di precompressione 1	A_{p1}	4050	mm ²
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	3300	mm ²
Perdite dovuto al ritiro del calcestruzzo al livello delle armature di precompressione 1	$\Delta P_{pcs,1}$	267	kN
Perdite dovuto al ritiro del calcestruzzo al livello delle armature di precompressione 2	$\Delta P_{pcs,2}$	218	kN

Prospetto 5.55 - Perdite dovute al ritiro del calcestruzzo

Ref 5.43 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Prospetto 3.2

Ref 5.44 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Prospetto 3.3

Ref 5.45 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.9

Ref 5.46 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.12

Ref 5.47 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.8

$$\Delta\sigma_{cs} = \varepsilon_{cs} \times E_p$$

La valore finale di perdite dovuto al ritiro del calcestruzzo è data dal equazione seguente:

L'ultimo tipo di perdite differite è le perdite dovute alla deformazione viscosa del calcestruzzo.

La viscosità e il ritiro del calcestruzzo dipendono dall'umidità ambientale, dalle dimensioni dell'elemento e dalla composizione del calcestruzzo. La viscosità è inoltre influenzata dalla maturazione del calcestruzzo al momento della prima applicazione del carico e dipende dalla durata e dal valore del carico. Il suo coefficiente è determinato graficamente.

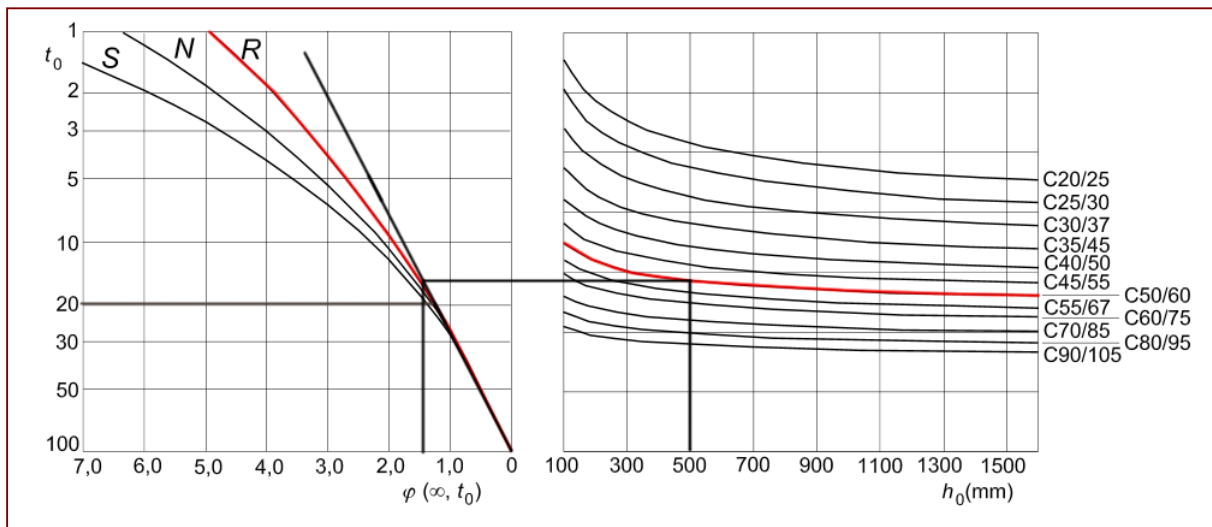


Figura 5.58 - Determinazione grafica del coefficiente di viscosità.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Coeficiente che dipende dell'età del calcestruzzo ^(5.38)	$\beta_{cc}(20)$	0,96	-
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica	f_{ck}	50,00	MPa
Resistenza a compressione assiale del calcestruzzo caratteristica a 20 giorni	$f_{ck}(20)$	48,20	MPa
Valore iniziale di precompressione	N_{p1}	5,51	MN
Valore iniziale di precompressione	N_{p2}	4,49	MN
Superficie della sezione	A_c	0,95	m ²
Variazioni della tensione nel baricentro di armature di precompressione 1	$\Delta\sigma_{c,1}$	5,21	MPa
Variazioni della tensione nel baricentro di armature di precompressione 2	$\Delta\sigma_{c,2}$	4,24	MPa
Perimetro della sezione di calcestruzzo	u	4,10	m
Dimensione convenzionale $(2 \cdot A_c / u)$ ^(5.48)	h_0	0,46	m
Coeficiente finale di viscosità ^(5.49)	$\varphi(\infty, 20)$	1,50	-
Modulo d'elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	37,00	GPa
Modulo tangente ^(5.48)	E_c	38,85	GPa
Deformazione Viscosa al livello delle armature di precompressione 1 ^(5.50)	$\varepsilon_{cc,1}(\infty, 20)$	0,20	‰
Deformazione Viscosa al livello delle armature di precompressione 2 ^(5.50)	$\varepsilon_{cc,2}(\infty, 20)$	0,16	‰
Modulo d'elasticità del acciaio di precompressione	E_p	195	GPa
Perdite dovute alla viscosità per le armature di precompressione 1	$\Delta\sigma_{pcc\infty,1}$	39,19	MPa
Perdite dovute alla viscosità per le armature di precompressione 2	$\Delta\sigma_{pcc\infty,2}$	31,93	MPa

Prospetto 5.56 - Perdite dovute alla deformazione viscosa del calcestruzzo - 1.

Sezione delle armature di precompressione 1	A_{p1}	4050	mm ²
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	3300	mm ²
Perdite dovuto alla viscosità al livello delle armature di precompressione 1	$\Delta P_{pcs,1}$	159	kN
Perdite dovuto alla viscosità al livello delle armature di precompressione 2	$\Delta P_{pcs,2}$	129	kN

Prospetto 5.57 - Perdite dovute alla deformazione viscosa del calcestruzzo - 2.

Ref 5.48 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Paragrafo 3.1.4

Ref 5.49 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Figura 3.1

Ref 5.50 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 3.6

In fine le variazioni di sforzo di precompressione sono definite nella tabella seguente

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variazione di precompressione nella guaina 1	N_{p1}	-0,67	MN
Posizione della guaina 1	y_1	0,35	m
Variazione del momento dovuto alla guaina 1	M_{p1}	-0,24	MNm
Variazione di precompressione nella guaina 2	N_{p2}	-0,55	MN
Posizione della guaina 2	y_2	0,15	m
Variazione del momento dovuto alla guaina 2	M_{p2}	-0,08	MNm

Prospetto 5.58 - Variazioni delle sollecitazioni differite negli acciai di precompressione.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Variazione di tensione sul bordo superiore	$\Delta\sigma'_c$	0,20	N/mm
Variazione di tensione sul bordo inferiore	$\Delta\sigma''_c$	-2,78	N/mm
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	19,73	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	-2,07	N/mm

Prospetto 5.59 - Variazioni immediate di tensione negli acciai di precompressione.

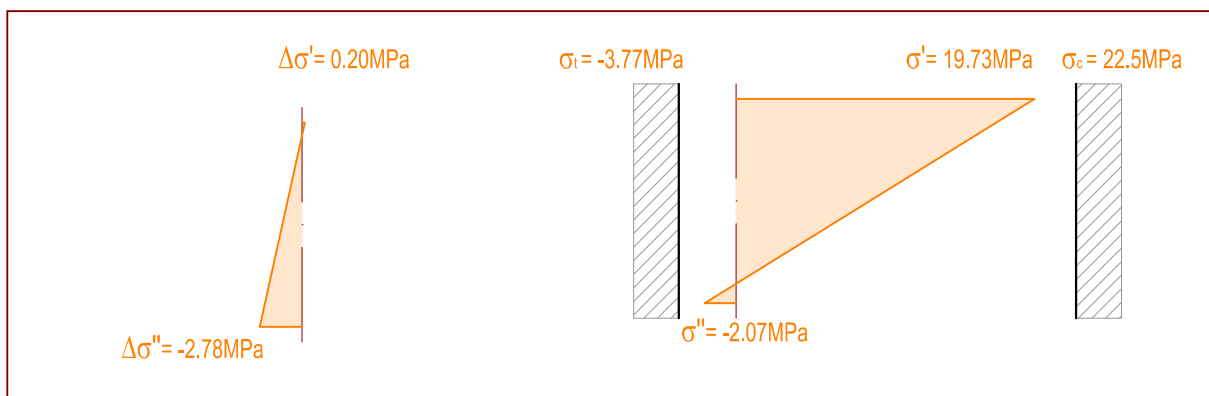


Figura 5.59 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di perdite differite.

in fine

$$\sigma'_c < \sigma_c$$

$$-\sigma''_c < \sigma_{tc}$$

Abbiamo verificato per tutte le fasi incrementali che le tensioni sono nella zona di validità delle tensioni nel calcestruzzo.

La trave è quindi verificata alle tensioni per la sezione a

VERIFICHE DELLE TENSIONI NELLA SEZIONE A'

Per questa sezione, la verifica è effettuata al gancio di sollevamento. Dopo la messa in tensione della trave e le perdite immediate.

Le valori di sollecitazione sono le seguenti:

Nome	Notazione	Valore	Unità
Carichi di peso proprio	g'	22,68	kN/ml
Luce della trave	L	17,40	m
Sezione di momento minimo	a'	0,90	m
Sezione di variazione di armatura	d	3,72	m
Reazione di appoggio	R'	0,20	MN
Momento di sollevamento	M_0	-9,19	kNm

Prospetto 5.60 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase transitoria.

In fine le tensioni divengono:

Nome	Notazione	Valore	Unità
Tensione sul bordo superiore dovute al sollevamento	σ'_c	-0,05	N/mm
Tensione sul bordo inferiore dovute al sollevamento	σ''_c	0,05	N/mm
Tensione sul bordo superiore	σ'_c	3,40	N/mm
Tensione sul bordo inferiore	σ''_c	16,85	N/mm

Prospetto 5.61 - Tensioni nella sezione a' al momento di gancio.

Confermiamo quindi che :

$$\begin{aligned} \sigma'_c &< \sigma_c \\ \sigma''_c &< \sigma_c \end{aligned}$$

VERIFICHE DEL MOMENTO FLETTENTE MASSIMO NELLA TRAVE (SEZIONE A)

Il momento agente calcolato nella sezione a si trova con una combinazione di azioni lineari che riprendono tutti i momenti flettenti dovuti al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e ai sovraccarichi variabili.

In fine il momento agente è calcolato secondo l'equazione:

$$M_{ad} = 1.35 \times M'_a + 1.35 \times M''_a + 1.5 \times M_a$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Momento dovuto al peso proprio	M_{G1}	1,159	MNm
Momento dovuto ai sovraccarichi permanente	M_{G2}	1,111	MNm
Momento dovuto ai sovraccarichi variabili	M_Q	3,896	MNm
Momento flettente agente di calcolo	M_{ad}	6,166	MNm

Prospetto 5.62 - Calcolo del momento flettente agente.

La forma della trave e la lunghezza del perimetro impongono di mettere degli acciai intorno alla sezione per prevenire una fessurazione troppo importante. Usiamo un valore di regole dell'arte francese che danno 3cm² di acciaio per ogni metro di perimetro della trave in calcestruzzo.

In fine l'armatura ordinaria è composta di 16 HA 10 intorno alla trave con un copriferro di 5cm.

Per il calcolo del momento resistente usiamo le armature in acciaio ordinarie e quelle di precompressione. Prima di tutto dobbiamo calcolare l'altezza di calcestruzzo in

$$\bar{x} = \frac{(A_P \times f_p + A_S \times f_{yk} - A'_S \times f_{yk})}{B \times f_{c1}}$$

compressione x trovata dall'equilibrio delle forze nella trave secondo l'equazione:

$$x = 0,8 \times \bar{x}$$

In fine il braccio di leva di calcolo è:

$$M_{rd} = A_{P1} \times f_p \times \left(d_1 - \frac{x}{2}\right) + A_{P2} \times f_p \times \left(d_2 - \frac{x}{2}\right) + A_S \times f_{yk} \times \left(d - \frac{x}{2}\right) + A'_S \times f_{yk} \times \left(\frac{x}{2} - d'\right)$$

Nome	Notazione	Valore	Unità
Area delle armature tese	A_S	314	mm ²
Posizione delle armature tese	d	1,30	m
Area delle armature di compressione	A'_S	314	mm ²
Posizione delle armature tese	d'	0,05	m
Resistenza a trazione assiale del acciaio di armatura ordinaria di progetto	f_{yd}	435	MPa
Area delle armature di precompressione 1	A_{p1}	3300	mm ²
Posizione delle armature di precompressione 1	d_1	1,00	m
Sezione delle armature di precompressione 2	A_{p2}	4050	mm ²
Posizione delle armature di precompressione 2	d_2	0,80	m
Resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione	f_p	1860	MPa
larghezza della trave	b	0,70	m
valori di calcolo di resistenza del calcestruzzo	f_{c1}	28,33	
Altezza del calcestruzzo compresso	\bar{x}	0,69	m
Altezza del calcestruzzo compresso di calcolo	x	0,55	m
Momento flettente resistente di calcolo	M_{rd}	7,623	MNm

Prospetto 5.63 - Calcolo del momento flettente resistente.

Il momento resistente deriva di questa equazione:
In fine abbiamo verificato che:

$$M_{ad} < M_{rd}$$

VERIFICHE DEL TAGLIO MASSIMO NELLA TRAVE (SEZIONE B)

Il taglio agente calcolato nella sezione a si trova con una combinazione di azioni lineari che riprendono tutti i tagli dovuti al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e ai sovraccarichi variabili.

In fine il taglio agente è calcolato secondo l'equazione:

$$V_{ad} = 1.35 \times V'_b + 1.35 \times V''_b + 1.5 \times V_b - P \times \sin \varphi$$

Per il calcolo delle armature di acciaio abbiamo preso staffature di acciaio di tipo HA10 con una spaziatura di 0,1m con un orientamento definito da l'angolo θ con $\cot(\theta)=2$. In fine il calcolo del taglio resistente si fa seguendo le valore definite dall'Eurocodice.

Nome	Notazione	Valore	Unità
Sforzo Normale nella guaina 2	P_{m2}	5,51	MN
angolo della guaina al appoggio	ϕ	0,0803	rad
Taglio agente dovuto all'armatura di precompressione	V_P	-0,398	MN
Taglio agente dovuto al peso propio	V_{G1}	0,211	MN
Taglio agente dovuto ai sovraccarichi permanente	V_{G2}	0,203	MN
Taglio agente dovuto ai sovraccarichi variabili	V_Q	0,710	MN
Taglio agente globale	V_{ad}^*	0,727	MN

Prospetto 5.64 - Calcolo del taglio agente.

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

In fine il taglio resistente è calcolato nella tabella sotto:

Nome	Notazione	Valore	Unità
Resistenza a trazione assiale del acciaio di armatura ordinaria carateristica	f_{yk}	500	Mpa
Diametri della staffatura	ϕ_{sw}	10,0	mm
Spaziatura	s	0,100	m
Orientamento delle stafature	$\cot(\theta)$	2	
Staffatura scelta	a_w	7,85	cm ² /m
Braccio della coppia interna	z	1,25	m
Taglio resistente^(5,51)	V_{rd}	0,853	MN

Prospetto 5.65 - Calcolo del taglio resistente.

Ref 5.51 : UNI EN 1992-1-1:2005 : Equazione 6.8

In fine la verifica del taglio da :

$$V_{ad} < V_{rd}$$

La trave in calcestruzzo armato precompresso ha quindi la forma seguente quanto riguarda la rete delle sue armature di taglio.

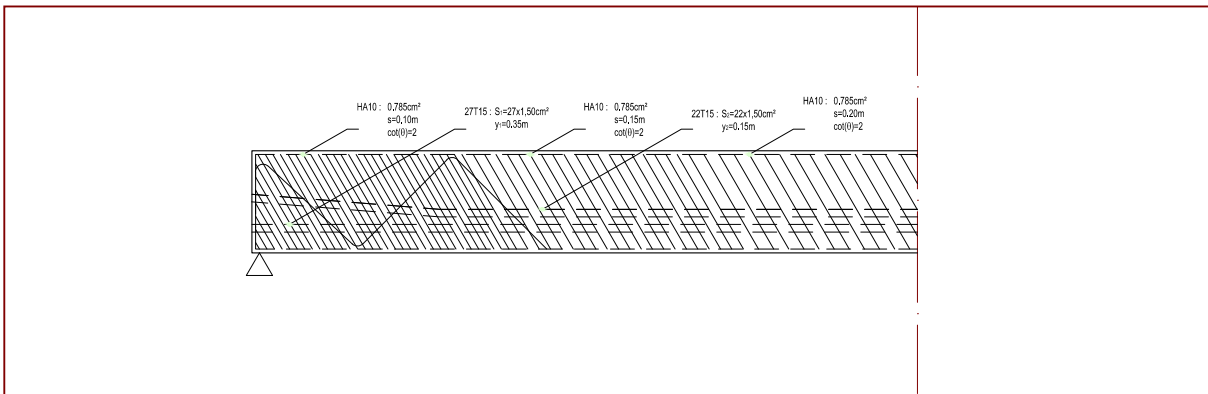


Figura 5.60 - Schematizzazione della trave di calcolo al taglio.

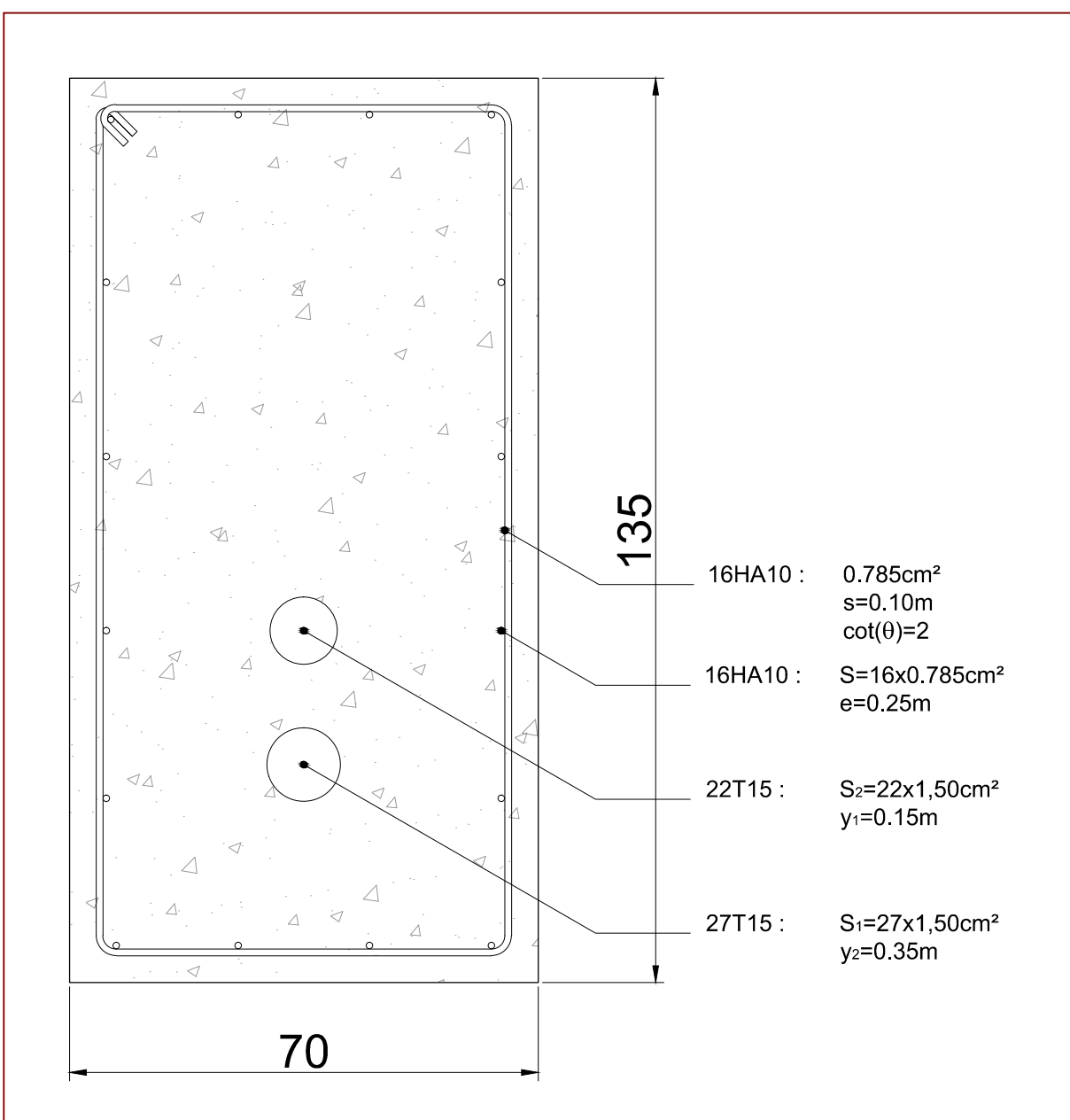


Figura 5.61 - Posizione dei ferri nella trave di calcestruzzo armato precompresso

PARTE 6 - IMPIANTI E CALCOLI TERMICI

INDICE

INDICE	417
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO	420
PRINCIPIO ESTIVALE.....	420
PRINCIPIO INVERNALE.....	421
DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI	422
IL RISCALDAMENTO AL LEGNO.....	422
IL PAVIMENTO RADIANTE.....	422
IMPIANTI DI RAFFRESCAMENTO COMUNALE.....	423
IMPIANTI DI VENTILAZIONE.....	424
CALCOLI TERMICI	425
INTRODUZIONE.....	425
ENERGIA SCAMBIATA PER TRASMISSIONE.....	425
ENERGIA SCAMBIATA PER VENTILAZIONE.....	428
ENERGIA SCAMBIATA PER INFILTRAZIONI.....	429
ENERGIA DI RIFERIMENTO PER TRASMISSIONE, VENTILAZIONE E INFILTRAZIONE.....	429
ACQUA CALDA SANITARIA.....	430
APPORTI INTERNI.....	430
APPORTI SOLARI.....	431
APPORTI GRATUITI.....	432
FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA.....	433
FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA.....	434
ENERGIA FINALE.....	435
ENERGIA PRIMARIA.....	436
STUDIO DI CASO	437
METODOLOGIA.....	437
CASO DI RIFERIMENTO.....	437
INFLUENZA DELLE PERFORMANCE DEL RECUPERATORE DI CALORE.....	440
INFLUENZA DELLO SPESSORE DI ISOLAMENTO.....	444
INFLUENZA DEL TIPO DI VETRATE.....	447
INFLUENZA DELLE SCHERMATURE.....	449

Helsinki è situata a 60°N è beneficia di un clima boreale umido.

Le temperature in inverno sono negative, in media di -5°C , di più è abituale di avere delle temperature molto più basse, fino a -20°C . Se facciamo la comparazione con Mosca situata più a sud (55°N) il clima è comunque più clemente perche Helsinki beneficia del calore del Mar Baltico. In estate le temperature sono in medie di 15°C .

L'umidità relativa è elevata fra l'80 e il 90% in inverno e fra il 65 e il 70% in estate. Avremmo quindi bisogno di una regolazione dell'umidità relativa negli ambienti interni.

Come siamo vicino al cerchio polare, l'irraggiamento in inverno è quasi nullo e i raggi solari sono molto bassi. In estate l'irraggiamento raggiunge $170 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{mese})$.

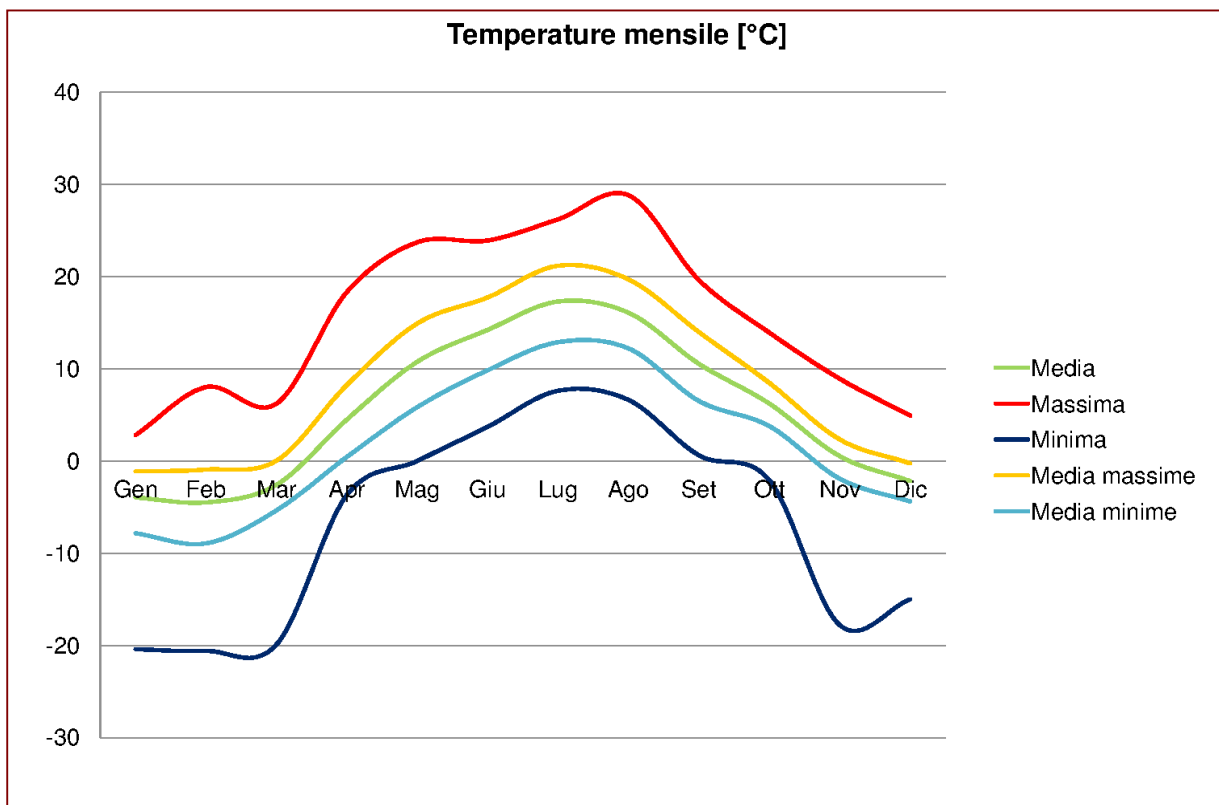


Figura 6.1 - Diagrammo delle temperature mensile.

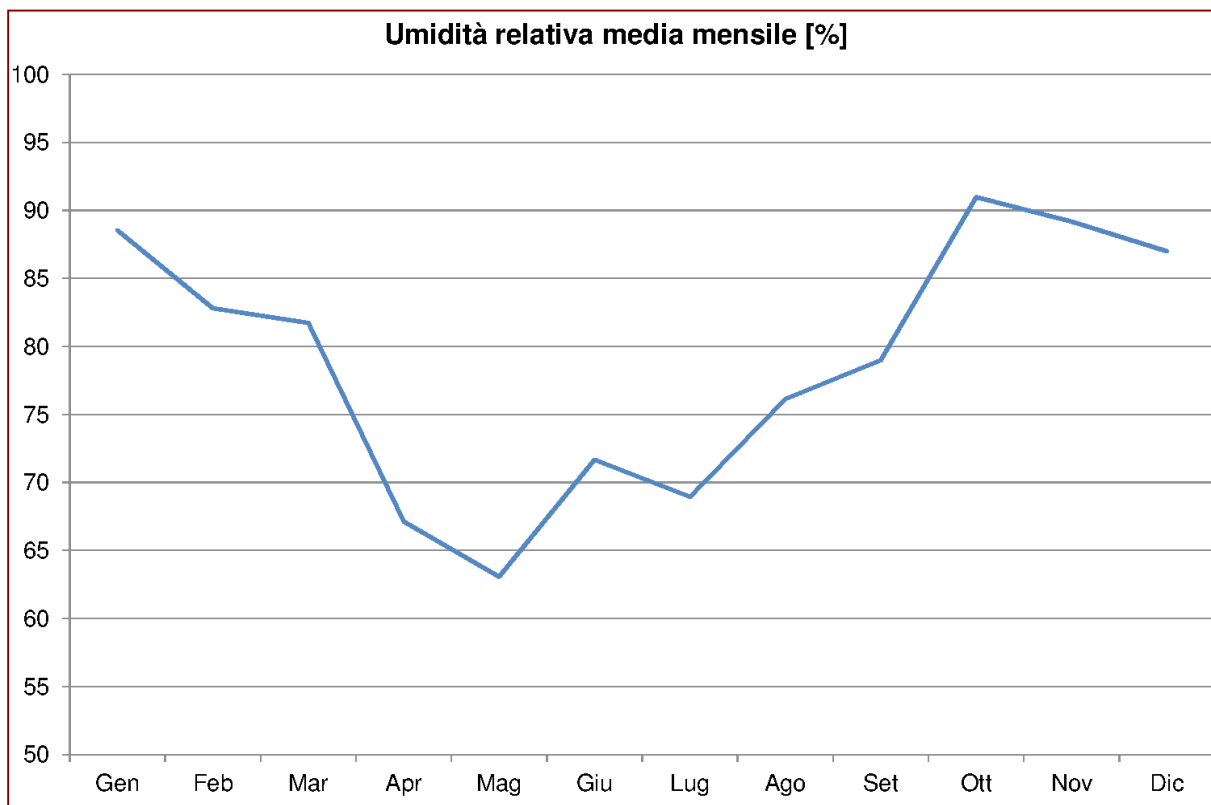


Figura 6.2 - Diagramma dell'umidità relativa media mensile.

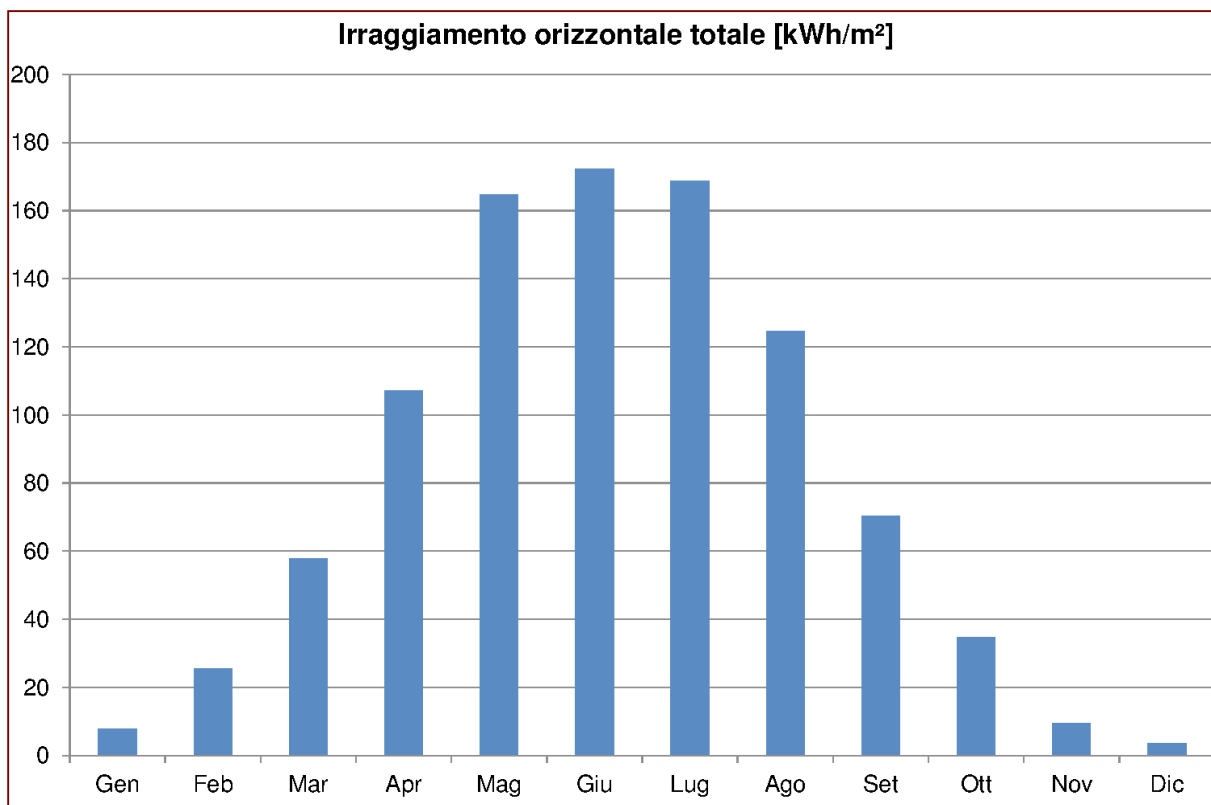


Figura 6.3 - Diagramma dell'irraggiamento orizzontale totale.

PRINCIPIO ESTIVALE

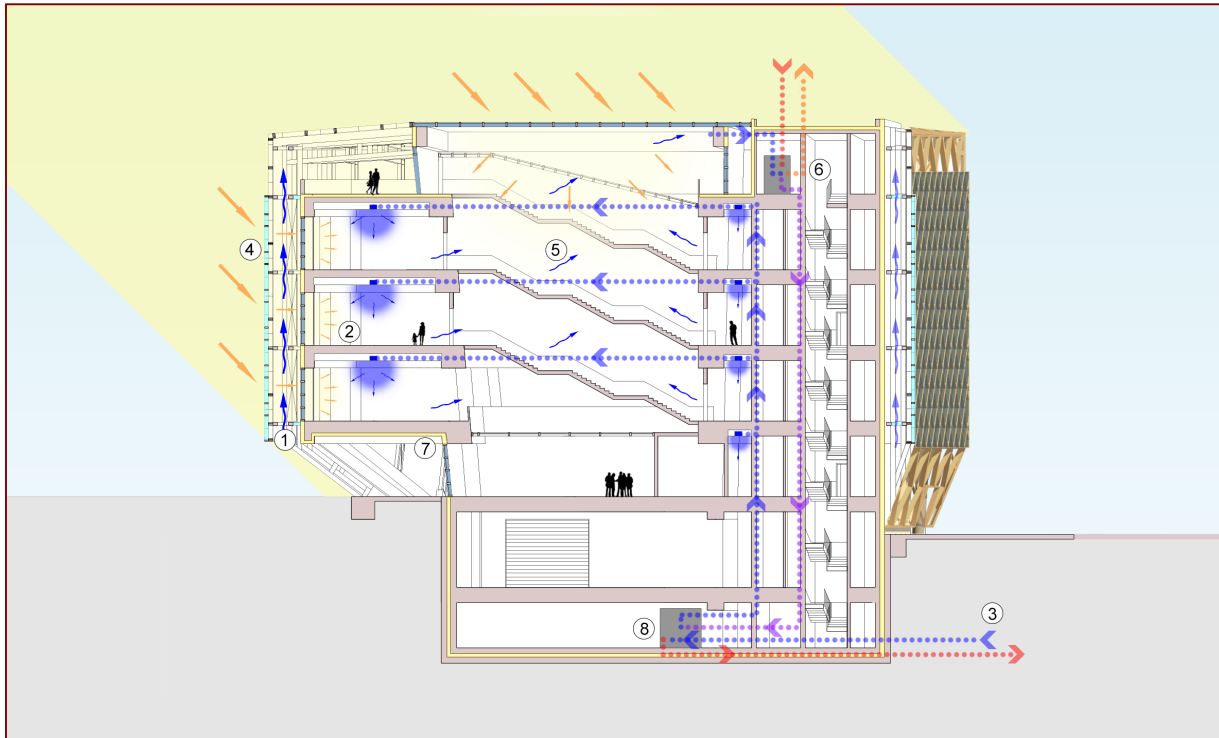


Figura 6.4 - Principio di funzionamento nel periodo estivale.

In estate la doppia pelle è aperta (1). L'aria nella doppia pelle si riscalda a causa dell'effetto serra. L'aria calda ha una densità minore rispetto all'aria fredda quindi scende creando una ventilazione naturale. La ventilazione va dunque evacuare l'aria calda prima che quella riscalda gli ambienti interni, evitando il surriscaldamento della biblioteca.

Gli impianti di ventilazione nel controsoffitto (2) iniettano localmente l'aria negli ambienti. Questi sono alimentati in aria fresca tramite gli impianti nei servizi al piano interrato (8). Questi impianti sono raccordati alla rete municipale di raffrescamento (3) che fornisce dell'acqua fredda che serve a raffreddare l'aria nuova. L'aria nuova proveniente dall'esterno attraversa primo il recuperatore di calore (6) per essere parzialmente raffreddata. Il recuperatore di calore trasferisce l'energia dell'aria esterna calda all'aria viziata espulsa. All'interno degli atri la ventilazione è naturale (5), l'aria viziata scende naturalmente per essere raccolta al livello del recuperatore di calore.

Quanto riguarda i raggi solari (4), essi sono in parte fermati dalla struttura della doppia pelle che agisce come delle schermature.

PRINCIPIO INVERNALE

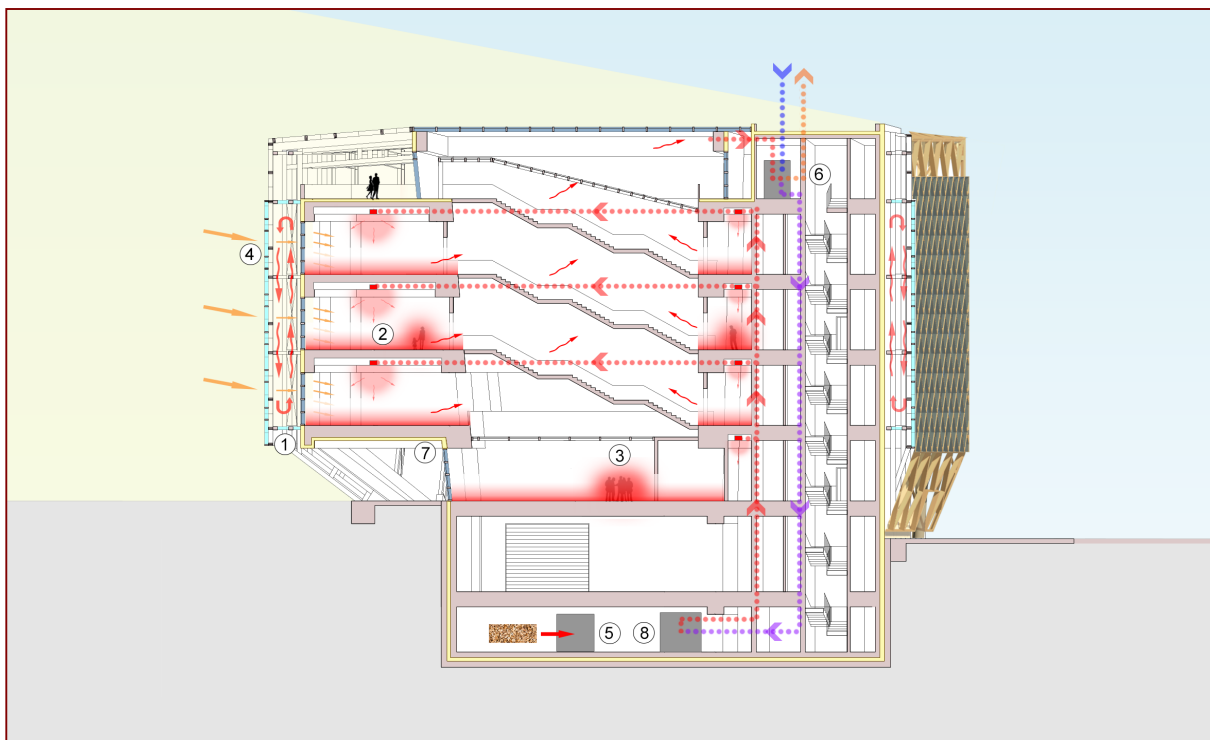


Figura 6.5 - Principio di funzionamento nel periodo invernale.

In inverno la doppia pelle è chiusa (1), così l'aria riscaldata per effetto serra può trasferire il suo calore agli ambienti interni.

Quanto riguarda la ventilazione, segue lo stesso principio che in estate. L'aria viziata scende naturalmente nell'atrio per passare dopo nel recuperatore di calore (6). Quello recupera energia termica ed entalpia dall'aria viziata per riscaldare e deumidificare l'aria nuova proveniente dall'esterno. Il riscaldamento si fa grazie a una stufa a pellet di legno (5) e tramite un pavimento radiante (2).

In inverno l'edificio beneficia di più degli apporti dovuti alle persone ed apparecchiature elettriche (3).

Quanto riguarda i raggi solari (4), essi sono molto bassi, quindi penetrano più in profondità negli ambienti rispetto ai raggi solari in estate.

Di più c'è l'isolamento termico (7), fatto all'esterno per impedire al massimo i ponti termici.

DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI

IL RISCALDAMENTO AL LEGNO

Il legno fu scelto perché è un'energia rinnovabile. Il suo bilancio carbonico è nullo perché il CO₂ che emette durante la combustione è uguale al CO₂ che l'albero ha accumulato durante la sua crescita.

Comparativamente all'elettricità, al gas o all'olio combustibile, il legno è un'energia competitiva. Il prezzo del legno è di circa 0,05 €/kWh, quello dell'elettricità e del gas è di 0,07 €/kWh, quello dell'olio combustibile è di 0,09 €/kWh.

Di più le stufe a legno hanno una grande efficienza fino a più del 90% per quelle a pellet di legno.

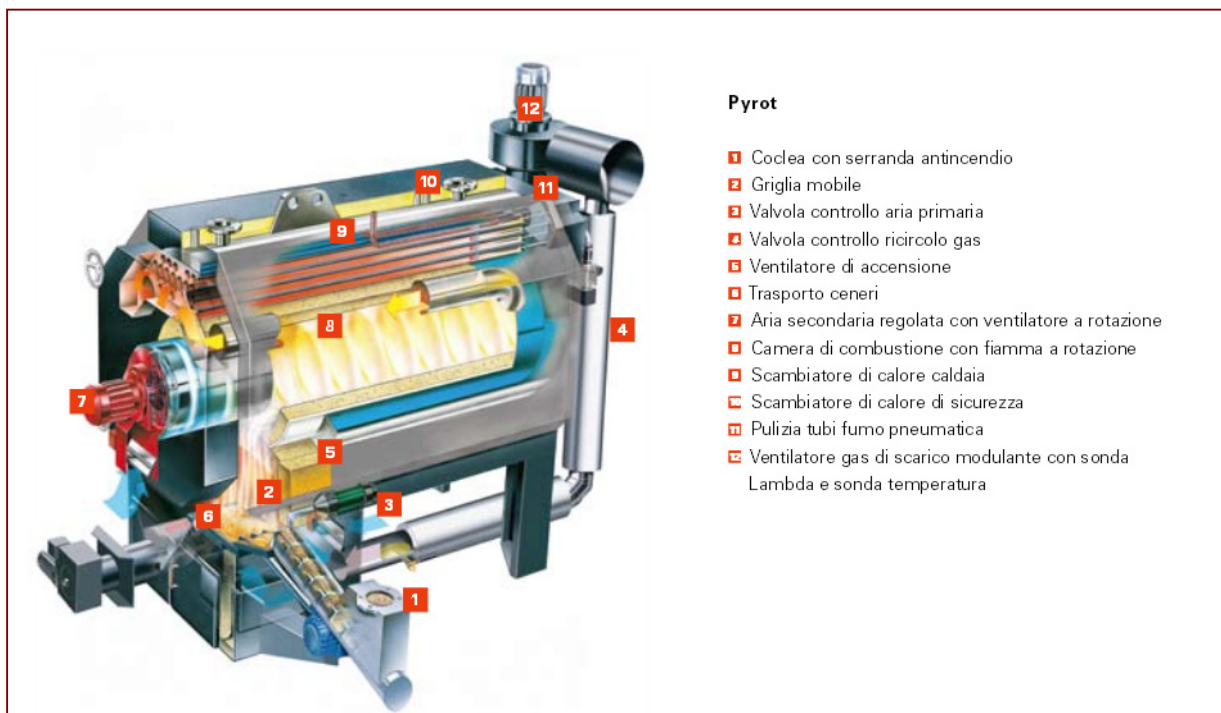


Figura 6.6 - Principio di funzionamento di una stufa a legno modello Pyrot.

Questi impianti sono adattati per gli edifici terziari con delle potenze possibilmente superiore a 500 kW. Nel nostro caso una stufa di 150 kW è sufficiente.

IL PAVIMENTO RADIANTE

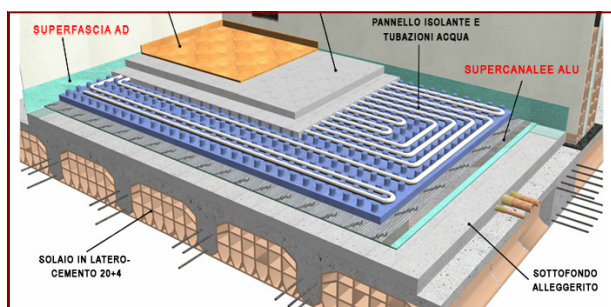


Figura 6.7 - Esempio di pavimento radiante su un solaio in latero-cemento.

Il principio del pavimento radiante è di riscaldare l'aria per radiazione tramite una circolazione d'acqua calda nel pavimento.

I vantaggi rispetto ai radiatori sono l'uso di acqua a temperatura più bassa (fra 30 e 40°C) e una distribuzione più omogenea del calore.

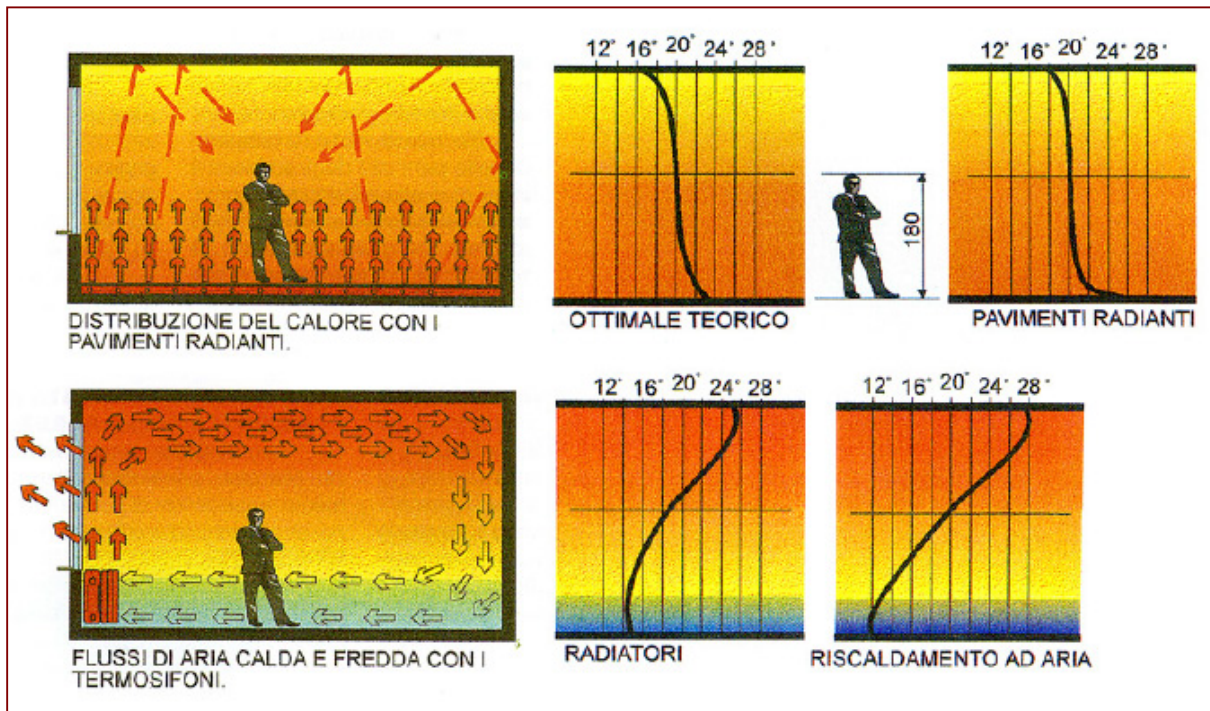


Figura 6.8 - Distribuzione di calore comparativa fra un pavimento radiante e un termosifone.

IMPIANTI DI RAFFRESCAMENTO COMUNALE

Per la climatizzazione estivale ci ricordiamo alla rete comunale di raffrescamento. Questa rete usa delle pompe di calore che fruiscono la freschezza relativa del mare baltico. Ancora una volta privilegiamo una fonte di energia rinnovabile.

Questa rete di distribuzione è in espansione e copre in 2013 quasi tutto il centro storico di Helsinki.



Figura 6.9 - Rete comunale di raffrescamento.

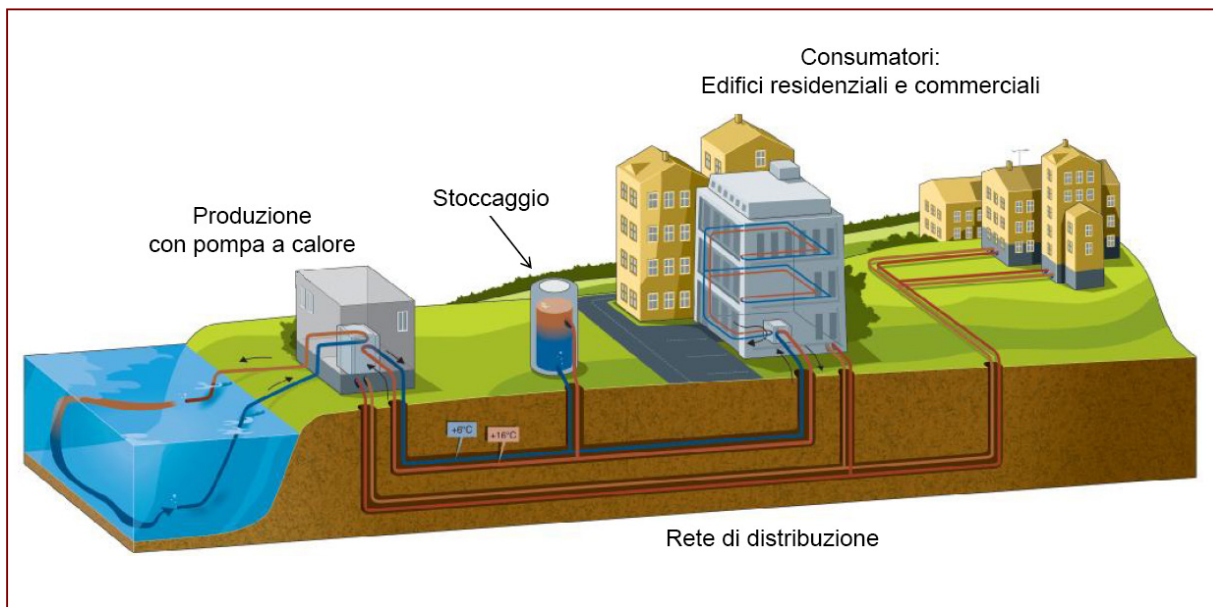


Figura 6.10 - Funzionamento della rete comunale di raffrescamento.

IMPIANTI DI VENTILAZIONE

Per la ventilazione abbiamo scelto delle unità incassate nel controsoffitto. Queste sono combinate con un recuperatore di calore.

Il recuperatore di calore è indispensabile permesse delle economia di energia per la ventilazione del 80% e più. È talmente importante che secondo la legge siamo obbligati a usarne uno.

Il recuperatore di calore funziona per scambiare il calore e l'entalpia fra l'aria interna viziata che esce e l'aria esterna pulita che entra.

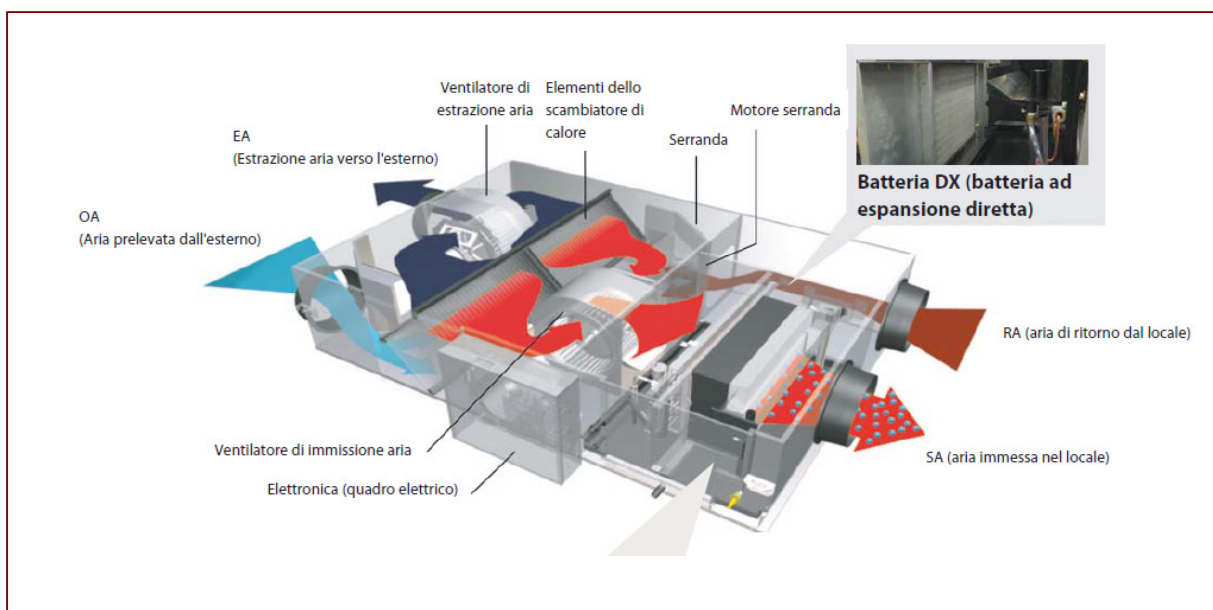


Figura 6.11 - Funzionamento del recuperatore di calore.

CALCOLI TERMICI

INTRODUZIONE

Il testo di riferimento per i calcoli di fabbisogno e consumi energetici è il National building code of Finland capitolo D5 Calculation of power and energy needs for heating of buildings e capitolo D3 Energy efficiency of buildings.

La particolarità del nostro edificio è di avere una doppia pelle con ventilazione naturale. Questo è difficile da prendere in conto nei calcoli di norma. Nella normativa finlandese non c'è nessun elemento vicino al nostro caso quindi facciamo riferimento alla normativa italiana (che per gli altri calcoli è quasi identica).

Secondo il decreto n°5796 dell'11 giugno 2009 della norma, la doppia pelle può essere considerata in approssimazione come uno spazio soleggiato. Questo significa prendere in conto la resistenza termica della seconda pelle, la diminuzione degli apporti solari dovuti all'ombreggiatura e al fattore solare della seconda pelle. Purtroppo i guadagni dovuti al surriscaldamento nella seconda pelle e la ventilazione naturale sono poco considerati. L'ideale sarebbe di dedicare una parte intera della tesi a calcolare i contributi della doppia pelle, questo facendo delle simulazioni numeriche con software particolari non necessariamente accessibili da noi.

I calcoli sono comunque validi per stimare i consumi energetici e validare le nostre scelte (cfr parte studio di caso).

ENERGIA SCAMBIATA PER TRASMISSIONE

Per il calcolo dell'energia scambiata per trasmissione, furono individuate cinque zone nell'edificio con ciascuna un orario proprio di accensione degli impianti, e con temperature di consegne proprie. Queste zone sono i servizi, il cinema, la hall multiuso, la biblioteca (collezioni, salotti, aule, studi, attività, mostre, ingresso, caffetteria, libreria) e il ristorante.

La biblioteca a degli ampi orari di apertura – secondo il bando di concorso – dal lunedì al sabato, dalle 7.00 alle 21.00. Gli altri spazi sono aperti gli stessi giorni della settimana ma con orari diversi. Il cinema è aperto nella serata dalle 17.00 alle 00.30 in tal modo da permettere la diffusione di tre film. La hall è anche aperta nella serata dalle 18.00 a mezzanotte. In fine, il ristorante è aperto per pranzo dalle 11.00 alle 16.00 e per cena dalle 18.00 a mezzanotte.

Quanto riguarda le temperature di consegna, la norma finlandese raccomanda 21°C in inverno e 25°C in estate. Per ridurre il fabbisogno termico abbiamo scelto di prendere queste temperature unicamente durante i periodi di aperture degli spazi; altrimenti le temperature sono di 17°C e 35°C. Notiamo che una temperatura inferiore a 17°C negli spazi quando essi non sono usati, ridurrebbe il fabbisogno termico ancora di più. Ciononostante questo avrebbe l'inconveniente di creare delle grandi variazioni di temperatura, e di sollecitare molto gli impianti di riscaldamento durante l'accensione nel mattino.

Spazio	T in uso invernale	T fuori uso invernale	T in uso estivale	T fuori uso estivale	Orario d'uso	Giorni d'uso
Servizi	17	17	35	35	–	–
Cinema	21	17	25	35	17:00 – 00:30	Lunedì – Sabato
Hall multiuso	21	17	25	35	18:00 – 00:00	Lunedì – Sabato
Biblioteca	21	17	25	35	07:00 – 21:00	Lunedì – Sabato
Ristorante	21	17	25	35	11:00 – 16:00 e 18:00 – 24:00	Lunedì – Sabato

Prospetto 6.1 - Temperature e orari.

Il calcolo dell'energia scambiata per trasmissione è fatto per ogni ora. In fatto un calcolo mensile non è giustificato nel caso della Finlandia perché nei mesi estivali ci sono giorni che necessitano riscaldamento e giorni che necessitano raffrescamento. Una media sul mese condurrebbe a livellare le temperature e quindi a minimizzare il fabbisogno. Di più abbiamo delle pareti con struttura a secco e delle grandi superfici vetrate con quindi un'inerzia termica bassa. Questo giustifica un calcolo con un passo di tempo piccolo.

Una verifica fu fatta per valutare le differenze di risultati. L'energia scambiata in periodo di riscaldamento è circa del 3% minore col calcolo mensile e l'energia scambiata in periodo di raffrescamento è nulla allorché le temperature oltrepassano i 25°C.

Calcolo dell'energia scambiata per trasmissione con l'esterno:

$$Q_{T,H} = \left(\sum_i U_i A_i + \sum_j \psi_j L_j \right) F_{T,k} (T_{Int} - T_{Est})$$

$$Q_{T,C} = \left(\sum_i U_i A_i + \sum_j \psi_j L_j \right) F_{T,k} (T_{Est} - T_{Int})$$

$Q_{T,H}$: energia scambiata per trasmissione con l'esterno in periodo di riscaldamento [Wh]
 $Q_{T,C}$: energia scambiata per trasmissione con l'esterno in periodo di raffrescamento [Wh]
 U : Trasmittanza termica [W/(m².K)]
 A : Superficie della chiusura [m²]
 Ψ_j : Trasmittanza termica lineica [W/(m.K)]
 $F_{T,k}$: Fattore correttivo che vale 1 per le superfici in contatto con l'esterno e 0,45 per le superfici contro terra.

L_j : Lunghezza del ponte termico [m]
 T_{Int} : Temperatura interna [°C]
 T_{Est} : Temperatura esterna [°C]

I valori di trasmittanza termica sono forniti nella parte del tecnologico. Nella tabella seguente sono riportati i valori di trasmittanza lineica per i ponti termici. Questi sono i valori delle norme UNI EN ISO 14683 e delle regole francese Th-U. Le altre interfacce fra superfici differenti sono fatte in tal modo da non essere considerate come ponti termici.

A queste energie si deve aggiungere l'energia scambiata per trasmissione con gli spazi adiacenti a temperatura controllata. Per esempio fra la biblioteca e il ristorante quando la prima è a 21°C e il secondo a 17°C. Le formule sono le stesse con la temperatura esterna presa uguale alla temperatura dello spazio adiacente.

Elenco elementi	Descrizione ponti termici	Trasmittanza lineica [W/(m.K)]
P.T.1	Parete contro terra/Solaio contro terra	0.15
P.T.2	Parete contro terra/Parete contro terra	0.15
P.T.3	Parete esterna di vetro/Solaio su spazio aperto	-0.20
P.T.4	Parete esterna/Parete esterna	0.15
P.T.5	Parete strutturale/Tetto calpestabile	-0.20
P.T.6	Parete strutturale/Tetto non calpestabile	0.15

Prospetto 6.2 - Trasmittanza termica lineica dei ponti termici.

Si deve di più valutare l'energia scambiata per trasmissione fra la doppia pelle. Come spiegato nell'introduzione, facciamo riferimento alla norma italiana per questo calcolo (Decreto n°5796 dell'11 giugno 2009, parte E.6.3.12 Spazi soleggiati). L'energia scambiata per trasmissione è calcolata come seguente:

$$Q_{T,S,H} = \frac{H_i H_e}{H_i + H_e} (T_{Int} - T_{Est})$$

$$Q_{T,S,C} = \frac{H_i H_e}{H_i + H_e} (T_{Est} - T_{Int})$$

H_i : Coefficiente di scambio termico tra la zona climatizzata e lo spazio soleggiato [W/K]

H_e : Coefficiente di scambio termico tra lo spazio soleggiato e l'ambiente esterno [W/K]

$$H_i = \sum_j U_{i,j} A_{i,j}$$

$$H_e = \sum_j U_{e,j} A_{e,j} + \rho_a c_a V_S n$$

$\rho_a c_a$: Capacità termica volumica dell'aria, pari a 0,34 Wh/(m³.K)

V_S : Volume dello spazio soleggiato [m³].

n : Numero di ricambi d'aria [1/h].

Il numero di ricambi d'aria è difficile da calcolare per una ventilazione naturale quindi prendiamo il valore convenzionale della norma pari a 0,5 in periodo di raffrescamento (e 0 in periodo di riscaldamento perché la doppia pelle è chiusa).

ENERGIA SCAMBIATA PER VENTILAZIONE

Per il calcolo dell'energia scambiata per ventilazione l'edificio fu diviso in numerosi parti, secondo il numero di ricambi d'aria e secondo gli orari d'usi. La ventilazione è accenta un'ora prima l'ora d'apertura e spenta un'ora dopo l'ora di chiusura, come richiesto nel bando di concorso. In realtà, fuori gli orari d'uso la ventilazione non è spenta ma ridotta per assicurare un ricambio d'aria minimo. Di più c'è un controllo dell'umidità ambientale sia per il benessere delle persone sia per la preservazione dei libri. Nel passato fu considerato che il livello di umidità relativa debba essere compreso fra 45% e 55% ma recentemente il livello di umidità ammissibile fu allargato a $50 \pm 10\%$ (cfr Environnement et conservation des collections des bibliothèques). In fatto i libri possono sopportare un'umidità relativa compresa tra 20% e 75%. Abbiamo quindi ritenuto come tassi di umidità $50 \pm 10\%$.

Descrizione spazio	Portata d'aria in uso [dm³/s.m²]	Portata d'aria fuori uso [dm³/s.m²]	Umidità relativa [%]
Biblioteca: ingresso, mostre, attività, living lab	4	1	50±10
Biblioteca: collezioni	2	1	50±10
Biblioteca: aule insegnamento, lavoro di gruppo	4	1	50±10
Biblioteca: amministrazione e uffici	1.5	0.5	50±10
Caffetteria	6	1	50±10
Cinema	6	1	50±10
Servizi cinema	1.5	0.5	50±10
Hall multiuso	6	1	50±10
Servizi hall multiuso	1.5	0.5	50±10
Depositi hall multiuso	0.1	0.1	50±10
Ristorante	6	1	50±10
Servizi ristorante	2	0.5	50±10
Servizi	0.1	0.1	50±10

Prospetto 6.3 - Portate d'aria e umidità relativa.

L'energia per la ventilazione è divisa in due parti. La prima parte è l'energia necessaria per arrivare alla giusta temperatura, la seconda parte è l'energia necessaria per arrivare alla giusta umidità relativa. Le formule sono le seguenti:

$$Q_{V,H} = (1 - \eta_{Rc}) \rho_a c_a \left(\sum_k V_k n_k \right) (T_{Int} - T_{Est})$$

$$Q_{V,C} = (1 - \eta_{Rc}) \rho_a c_a \left(\sum_k V_k n_k \right) (T_{Est} - T_{Int})$$

- $Q_{V,H}$: Energia scambiata per ventilazione in periodo di riscaldamento [kWh]
- $Q_{V,C}$: Energia scambiata per ventilazione in periodo di raffreddamento [kWh]
- η_{Rc} : Efficienza del recupero di calore [-]
- $\rho_a c_a$: Capacità termica volumica dell'aria, pari a $0,34 \cdot 10^{-3}$ kWh/(m³.K)
- V_s : Volume dell'ambiente interno [m³].
- n : Numero di ricambi d'aria dell'ambiente interno [1/h].

$$Q_{Wv,V} = (1 - \eta_{Re}) \left(\sum_k \rho_a V_k n_k (x_k - x_i) \right) h_v$$

$Q_{wv,v}$: Entalpia necessaria per umidificare o deumidificare l'aria introdotta negli ambienti interni [kWh]

η_{Re} : Efficienza del recupero di entalpia [-]

ρ_a : Massa volumica dell'aria, pari a 1,2 kg/m³

V_k : Volume dell'ambiente interno [m³]

n_k : Numero di ricambio d'aria dell'ambiente interno [1/h]

x_k : Umidità massica dell'aria entrante [g/kg]

x_i : Umidità massica dell'aria interna [g/kg]

h_v : Entalpia specifica del vapore di acqua convenzionalmente posta pari a 0,695 kWh/kg

Con:

$$x = \frac{622(p_{vs}(T)i)}{101325 - p_{vs}(T)i}$$

E:

$$p_{vs}(T) = 610,5e^{\frac{17,269T}{T+237,3}} \text{ per } T \geq 0^\circ\text{C}$$

$$p_{vs}(T) = 610,5e^{\frac{21,875T}{T+265,5}} \text{ per } T < 0^\circ\text{C}$$

p_{vs} : Pressione parziale del vapore d'acqua [Pa]

T : Temperatura dell'ambiente [°C]

i : Umidità relativa dell'ambiente [-]

ENERGIA SCAMBIATA PER INFILTRAZIONI

L'energia scambiata per infiltrazioni è calcolata di maniera simile a quella per la ventilazione. La prima differenza è un ricambio d'aria costante e indipendente degli orari d'uso, presso a 1/15 m³/(h.m²) per le superfici in contatto con l'esterno e a 0 per le superfici in contatto col terreno. L'altra differenza è l'assenza di scambiatore di calore.

$$Q_{Inf} = \rho_a c_a \left(\sum_k V_k n_{Inf,k} \right) \Delta T$$

$$Q_{Wv,Inf} = \left(\sum_k \rho_a V_k n_{Inf,k} (x_k - x_i) \right) h_v$$

ENERGIA DI RIFERIMENTO PER TRASMISSIONE, VENTILAZIONE E INFILTRAZIONE

Quest'energia è la somma delle energie necessarie al riscaldamento o raffreddamento dell'aria.

$$Q_{L,H} = Q_{T,H} + Q_{T,S,H} + Q_{V,H} + Q_{Inf,H}$$

$$Q_{L,C} = Q_{T,C} + Q_{T,S,C} + Q_{V,C} + Q_{Inf,C}$$

ACQUA CALDA SANITARIA

Il fabbisogno termico per la produzione d'acqua calda sanitaria è calcolato sull'anno secondo la formula

$$Q_{DHW} = \rho_w c_{pw} V_{dhw,sp} A (T_{hw} - T_{cw})$$

- Q_{DHW} : Fabbisogno termico per la produzione dell'acqua calda sanitaria [Wh]
 ρ_w : massa volumica dell'acqua, assunta pari a 1 kg/dm³
 c_{pw} : Capacità termica specifica dell'acqua, assunta pari a 1,162 Wh/(kg.K)
 $V_{dhw,sp}$: Consumo specifico d'acqua sanitaria, presso pari a 68 dm³/m² per un edificio di categoria 4.
 A : Superficie riscaldata [m²]
 T_{hw} : Temperatura dell'acqua calda, pressa pari a 55°C
 T_{cw} : Temperatura dell'acqua fredda, pressa pari a 5°C

APPORTI INTERNI

Gli apporti interni corrispondono al calore emesso dai fonti interni: le persone, le apparecchiature elettriche e le luci artificiali.

Le cariche dovute alla luce artificiale sono calcolate con il livello di luce richiesto e con un'efficienza per la luce di 95 l_m/W (tubo fluorescente ad alto rendimento). Nelle parti di collezioni la luce è abbassata quando l'irraggiamento esterno è importante. Secondo le simulazioni abbiamo determinato che un irraggiamento superiore a 1500 kJ/m² è sufficiente per illuminare la biblioteca. Manteniamo comunque un minimo di luce artificiale per le parti più all'interno.

Le cariche dovute alle persone e alle apparecchiature elettriche sono date dal bando di concorso per le tre prime zone e dalla normativa per le seguenti.

Descrizione spazio	P_a [W/m ²]	P_p [W/m ²]	P_a+P_p [W/m ²]	Livello luce [lx]	P_l [W/m ²]	Periodo d'uso
Biblioteca: ingresso, mostre, attività, living lab	2	5		500	7.7	07:00 – 16:00
	5	40		500	7.7	16:00 – 21:00
Biblioteca: collezioni	10	7		200	3.1	07:00 – 16:00
	12	15		200	3.1	16:00 – 21:00
Biblioteca: aule insegnamento, lavoro di gruppo	20	40		500	7.7	08:00 – 18:00
Biblioteca: amministrazione			6	500	7.7	07:00 – 21:00
Caffetteria			10	300	4.6	07:00 – 21:00
Servizi collezioni			1	200	3.1	07:00 – 21:00
Cinema			8	500	7.7	17:00 – 00:30
Servizi cinema			1	200	3.1	17:00 – 00:30
Hall multiuso			8	500	7.7	18:00 – 00:00
Servizi hall multiuso			1	200	3.1	18:00 – 00:00
Ristorante			10	300	4.6	11:00 – 16:00 e 18:00 – 24:00
Servizi ristorante			1	200	3.1	11:00 – 16:00 e 18:00 – 24:00
Servizi			1	200	3.1	07:00 – 21:00

Prospetto 6.4 - Apporti interni.

Il calcolo è il seguente:

$$Q_I = \sum_k (P_{a,k} + P_{p,k} + P_{l,k}) A_k$$

- P_a : Cariche calorifiche per unità di superficie e dovute ad apparecchiature elettriche [W/m²]
 P_p : Cariche calorifiche per unità di superficie e dovute alle persone [W/m²]
 P_l : Cariche calorifiche per unità di superficie e dovute alla luce artificiale [W/m²]
 A : Superficie [m²]

APPORTI SOLARI

Gli apporti solari penetrano nell'edificio sia attraverso le superfici trasparenti, sia attraverso le superfici opache (ma in modo molto ridotto).

Il calcolo si fa quindi per i due tipi di superfici e tenendo conto della presenza o no della doppia pelle.

$$Q_S = Q_{SI} + Q_{SI,S} + Q_{SE} + Q_{SE,S}$$

Q_{SI} : Energia gratuita dovuta alle radiazioni solari attraverso le superfici trasparenti rivolte verso l'esterno [kWh]

$Q_{SI,S}$: Energia gratuita dovuta alle radiazioni solari attraverso le superfici trasparenti [kWh]

Q_{SE} : Energia gratuita dovuta all'assorbimento delle radiazioni solari attraverso le superfici opache rivolte verso l'esterno rivolte verso la doppia pelle [kWh]

$Q_{SE,S}$: Energia gratuita dovuta all'assorbimento delle radiazioni solari attraverso le superfici opache rivolte verso la doppia pelle [kWh]

Con:

$$Q_{SI} = \sum_j H_{s,j} \left(\sum_k A_k (1 - F_{F,k}) F_{S,i,j} F_{(sh+gl),k,j} g_k \right)$$

$H_{s,j}$: Irradiazione globale incidente sulle superfici trasparente con esposizione j [kWh/m²]

A : Superficie della superficie trasparente [m²]

$1 - F_F$: Coefficiente di riduzione dovuto al telaio del serramento [-]

F_S : Fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura [-]

$F_{(sh+gl),j}$: Fattore di riduzione dovuto all'utilizzo di schermature (mobile o fisse) per l'esposizione j [-]

g : Coefficiente di trasmissione solare [-]

$$F_S = F_h F_o F_f$$

F_h : Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne [-]

F_o : Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali [-]

F_f : Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali [-]

Il calcolo dettagliato di questi tre coefficienti è descritto nel paragrafo 5.3.6 della normativa finlandese.

$$Q_{SE} = \sum_j H_{s,j} \left(\sum_k A_k F_{S,i,j} \alpha_k \frac{U_k}{h_e} \right)$$

- $H_{s,j}$: Irradiazione globale incidente sulle superfici opache con esposizione j [kWh/m²]
 A : Superficie della superficie opaca [m²]
 F_s : Fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura [-]
 α : Fattore di assorbimento solare delle superfici opache pari a 0,3 per una superficie biancastra
 U : Trasmittanza termica delle superfici opache [W/(m².K)]
 h_e : Coefficiente di scambio termico superficiale esterno pari a 25 W/(m².K)

Il calcolo in presenza della doppia pelle è simile a quello senza. Per le superfici trasparenti teniamo conto in più della riduzione degli apporti tramite il coefficiente di trasmissione solare della seconda pelle e il suo fattore di riduzione dovuto ai telai dei serramenti. Per le superfici opache in più alla riduzione degli apporti, teniamo conto del surriscaldamento nella doppia pelle con il fattore $H_e/(H_e+H_i)$ (cfr la parte energia scambiata per trasmissione per il dettaglio del calcolo dei coefficienti di scambio termico).

$$Q_{SI,S} = ((1 - F_{F,e})g_e) \sum_j H_{s,j} \left(\sum_k A_k (1 - F_{F,k}) F_{S,i,j} F_{(sh+gl),k,j} g_k \right)$$

$$Q_{SE,S} = ((1 - F_{F,e})g_e) \frac{H_e}{H_e + H_i} \sum_j H_{s,j} \left(\sum_k A_k F_{S,i,j} \alpha_k \frac{U_k}{h_i} \right)$$

APPORTI GRATUITI

Gli apporti gratuiti sono la somma degli apporti interni e solari.

$$Q_G = Q_I + Q_S$$

- Q_I : Energia gratuita dovuta ad apparecchiature elettriche e persone [kWh]
 Q_S : Energia gratuita dovuta alle radiazioni solari [kWh]

Gli apporti gratuiti sono divisi in tre contributi. Il primo contributo ($Q_{G,H}$) è un contributo utile perché riduce il fabbisogno di riscaldamento. Questo occorre durante il periodo di riscaldamento quando gli apporti gratuiti sono inferiori all'energia necessaria per riscaldare l'edificio. Il secondo contributo ($Q_{G,C}$) è un contributo sfavorevole perché aumenta il fabbisogno di climatizzazione. Questo occorre durante il periodo di raffrescamento quando gli apporti gratuiti riscaldano un'aria già troppo calda. Il terzo contributo ($Q_{G,N}$) è un contributo neutrale perché non influenza né il fabbisogno di riscaldamento né il fabbisogno di raffrescamento. Questo occorre durante la mezza stagione, quando gli apporti gratuiti riscaldano l'aria sopra la temperatura di consegna per il riscaldamento ma sotto la temperatura di consegna per il raffrescamento.

$$Q_{G,H} = \min(G_i; Q_{L,H})$$

Se gli apporti gratuiti sono inferiori all'energia necessaria per il riscaldamento sono contati come apporti utili, altrimenti unicamente la parte che compensa l'energia necessaria per riscaldamento è contata, il resto sarà contato negli altri contributi.

Per calcolare $Q_{G,C}$ si deve prima calcolare una temperatura interna fittizia che corrisponde alla temperatura interna senza i contributi degli apporti interni (secondo termine dell'equazione) più l'aumento di temperatura dovuto a questi apporti (primo termine dell'equazione). La temperatura è fittizia perché può oltrepassare la temperatura di consegna in periodo di raffreddamento.

$$T_{Int} = \max(0; G_i - Q_{L,H}) \frac{1}{\rho_a c_a V} + \min(\max(T_{Est}; T_{Int,H}); T_{Int,C})$$

Gli apporti sfavorevoli sono allora calcolati come il contributo degli apporti gratuiti che riscalda l'aria sopra la temperatura di consegna in periodo di raffreddamento.

$$Q_{G,C} = \max(0; T_{Int} - T_{Int,C}) \rho_a c_a V$$

T_{Int} : Temperatura interna fittizia [°C]

T_{Est} : Temperatura esterna [°C]

$T_{Int,H}$: Temperatura di consegna in periodo di riscaldamento [°C]

$T_{Int,C}$: Temperatura di consegna in periodo di raffreddamento [°C]

$\rho_a c_a$: Capacità termica volumica dell'aria, pari a 0,34 Wh/(m³.K)

V : Volume dell'ambiente interno [m³].

Il contributo neutrale degli apporti gratuiti è calcolato come una semplice differenza.

$$Q_{G,N} = Q_G - Q_{G,H} - Q_{G,C}$$

FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA

Il fabbisogno di energia è la somma dei contributi di energia sensibile e latente. Corrisponde a l'energia utile.

$$Q_{NH} = Q_{NH,s} + Q_{NH,l}$$

$$Q_{NC} = Q_{NC,s} + Q_{NC,l}$$

Q_{NH} : Fabbisogno di energia termica totale per il riscaldamento [kWh]

Q_{NC} : Fabbisogno di energia termica totale per il raffreddamento [kWh]

$Q_{N,s}$: Fabbisogno di energia termica sensibile [kWh]

$Q_{N,l}$: Fabbisogno di energia termica latente [kWh]

Con:

$$Q_{NH,s} = \max(0; Q_{L,H} - Q_{G,H})$$

$Q_{L,H}$: Energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione [kWh]

$Q_{G,H}$: Apporti energetici gratuiti utili [kWh]

$$Q_{NH,l} = -\min(0, Q_{Wv,V,H} + Q_{Wv,Inf,H})$$

$Q_{Wv,V,H}$: Entalpia del vapore di acqua introdotta nella tramite la ventilazione [kWh]

$Q_{Wv,Inf,H}$: Entalpia del vapore di acqua introdotta nella tramite le infiltrazioni [kWh]

$$Q_{NC,s} = Q_{L,C} + Q_{G,C}$$

$Q_{L,C}$: Energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione [kWh]

$Q_{G,C}$: Apporti energetici gratuiti sfavorevoli [kWh]

$$Q_{NC,l} = \max(0, Q_{Wv,V,C} + Q_{Wv,Inf,C})$$

$Q_{Wv,V,C}$: Entalpia del vapore di acqua introdotta nella tramite la ventilazione [kWh]

$Q_{Wv,Inf,C}$: Entalpia del vapore di acqua introdotta nella tramite le infiltrazioni [kWh]

FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA

Il fabbisogno di energia elettrica corrisponde a un'energia utile. È calcolato per i differenti posti di consumo.

$$W_H = (e_d + e_p)A$$

W_H : Energia elettrica richiesta per il funzionamento degli impianti di riscaldamento [kWh]

e_d : Consumo specifico degli impianti di distribuzione per il riscaldamento pari a 2,5 kWh/(m².a) per un riscaldamento a pavimento con acqua calda.

e_p : Consumo specifico degli impianti di produzione per il riscaldamento pari a 0,25 kWh/(m².a) per un riscaldamento al legno.

A : Superficie dell'area riscaldata [m²]

$$W_V = P_{es}V_v$$

W_V : Energia elettrica richiesta per il funzionamento degli impianti di ventilazione [kWh]

P_{es} : Potenza elettrica specifica degli impianti di ventilazione [kW/(m³/h)]

V_v : Volume d'aria ventilato [m³]

Un modulo di ventilazione Daikin FXMQ125PVE ha un portata d'aria pari a 33 m³/min per un potenza di 350 W. Da cui calcoliamo la potenza elettrica specifica $P_{es}=0,177$ W/(m³/h).

$$W_a = Q_a$$

W_a : Energia elettrica richiesta per il funzionamento delle apparecchiature elettriche [kWh]

Q_a : Apporti gratuiti dovuti ad apparecchiature elettriche [kWh]

$$W_l = Q_l$$

W_l : Energia elettrica richiesta per il funzionamento delle luce artificiali [kWh]

Q_l : Apporti gratuiti dovuti alle luci artificiali [kWh]

Il fabbisogno di energia elettrica può essere ridotto con la produzione locale d'energia elettrica di fonte rinnovabile come per esempio il solare fotovoltaico. In questo caso la formula per il calcolo dell'energia fornita è la seguente:

$$W_{rin} = A_{ps} \eta_{ps} H_s$$

- A_{ps} : Superficie pannelli fotovoltaici [m²]
 η_{ps} : Efficienza dei pannelli fotovoltaici, pressa pari al 16% per delle cellule policristalline di silicio.
 H_s : Irraggiamento sulla superficie dei pannelli fotovoltaici [W/m²]

ENERGIA FINALE

L'energia finale è l'energia comprata. È la somma del fabbisogno di energia termica (correggiato dall'efficienza degli impianti) e del fabbisogno di energia elettrica.

$$E_f = Q_{H,f} + W_H + W_V + Q_{C,f} + W_a + W_l$$

- $Q_{H,f}$: Energia termica finale per il riscaldamento [kWh]
 W_H : Energia elettrica richiesta per il funzionamento degli impianti di riscaldamento [kWh]
 W_V : Energia elettrica richiesta per il funzionamento degli impianti di ventilazione [kWh]
 $Q_{C,f}$: Energia termica finale per il raffrescamento [kWh]
 W_a : Energia elettrica richiesta per il funzionamento delle apparecchiature elettriche [kWh]
 W_l : Energia elettrica richiesta per il funzionamento delle luce artificiali [kWh]
 W_{rin} : Energia elettrica prodotta localmente da fonti rinnovabili [kWh]

$$Q_{H,f} = \frac{Q_{NH}}{\eta_d \eta_p} + \frac{Q_{DHW}}{\eta_p}$$

- Q_{NH} : Fabbisogno di energia per il riscaldamento [kWh]
 Q_{DHW} : Fabbisogno termico per la produzione dell'acqua calda sanitaria [kWh]
 η_d : Efficienza degli impianti di riscaldamento pari a 0,89 per un riscaldamento a pavimento con acqua calda.
 η_p : Efficienza degli impianti di produzione di calore pari a 0,92 per un riscaldamento a pellet di legno.

$$Q_{C,f} = \frac{(1 + \beta) Q_{NC}}{\varepsilon_Q}$$

- Q_{NC} : Fabbisogno di energia termica totale per il raffrescamento [kWh]
 β : Fattore per le perdite negli impianti di climatizzazione estivale, pari a 0,2.
 ε_Q : Efficienza degli impianti di climatizzazione estivale, pari a 1 per il sistema municipale di raffrescamento con scambiatore di calore.

ENERGIA PRIMARIA

L'energia primaria rappresenta la quantità di risorse energetiche necessaria al funzionamento dell'edificio. È calcolata moltiplicando le energie finali per un fattore di conversione dipendente del tipo di fonte di energia utilizzata: energia elettriche, petrolio, gas, energia rinnovabile, etc.

$$E = \sum_k \eta_k E_{f,k}$$

Nel nostro caso usiamo il legno per il riscaldamento, considerato come risorse rinnovabile; per la climatizzazione estivale ci raccordiamo alla rete municipale. Quindi abbiamo:

$$E = \eta_{rin} Q_{H,f} + \eta_{dc} Q_{C,f} + \eta_{el} (W_H + W_V + W_a + W_l)$$

η_{rin} : Fattore di conversione per le fonte rinnovabili, pari a 0,5.

η_{dc} : Fattore di conversione per il sistema di raffrescamento municipale a scambiatore di calore, pari a 0,4.

η_{el} : Fattore di conversione per l'energia elettrica, pari a 1,7

STUDIO DI CASO

METODOLOGIA

L'obiettivo dello studio di caso è di valutare differenti parametri che influenzano il consumo energetico globale dell'edificio. Per valutare ogni parametri, abbiamo prima scelto un caso di riferimento (con valori che ci sembrano vicini al caso migliore). Rispetto al caso di base facemmo variare un parametro dopo l'altro per valutare l'influenza di un parametro indipendentemente dall'altro. Così, possiamo determinare se le prime scelte approssimative sono giuste o migliorabili.

I parametri che faremo variare sono i seguenti:

- L'efficienza del recuperatore di calore, sia al livello dello scambio di calore, sia al livello dello scambio di entalpia.
- Il grado d'uso delle schermature e il loro coefficiente di trasmissione di luce.
- Lo spessore d'isolamento.
- I tipi di vetrate per la doppia pelle.

CASO DI RIFERIMENTO

Il caso di riferimento ha come elementi caratteristici:

- Un recuperatore di calore con un'efficienza del 75% per il calore e un'efficienza del 65% per l'entalpia.

Abbiamo scelto un recuperatore di calore comune con una buona efficienza.

- L'assenza di schermature.

Abbiamo fatto l'ipotesi di un sole debole che non causa abbagliamento nei mesi estivale.

- Un isolamento di 20 cm (valori di trasmittanza fra 0,1 e 0,2 W/(m².K), cfr abachi).

Abbiamo fatto un compromesso fra le performance energetiche e l'uso di materiale isolante.

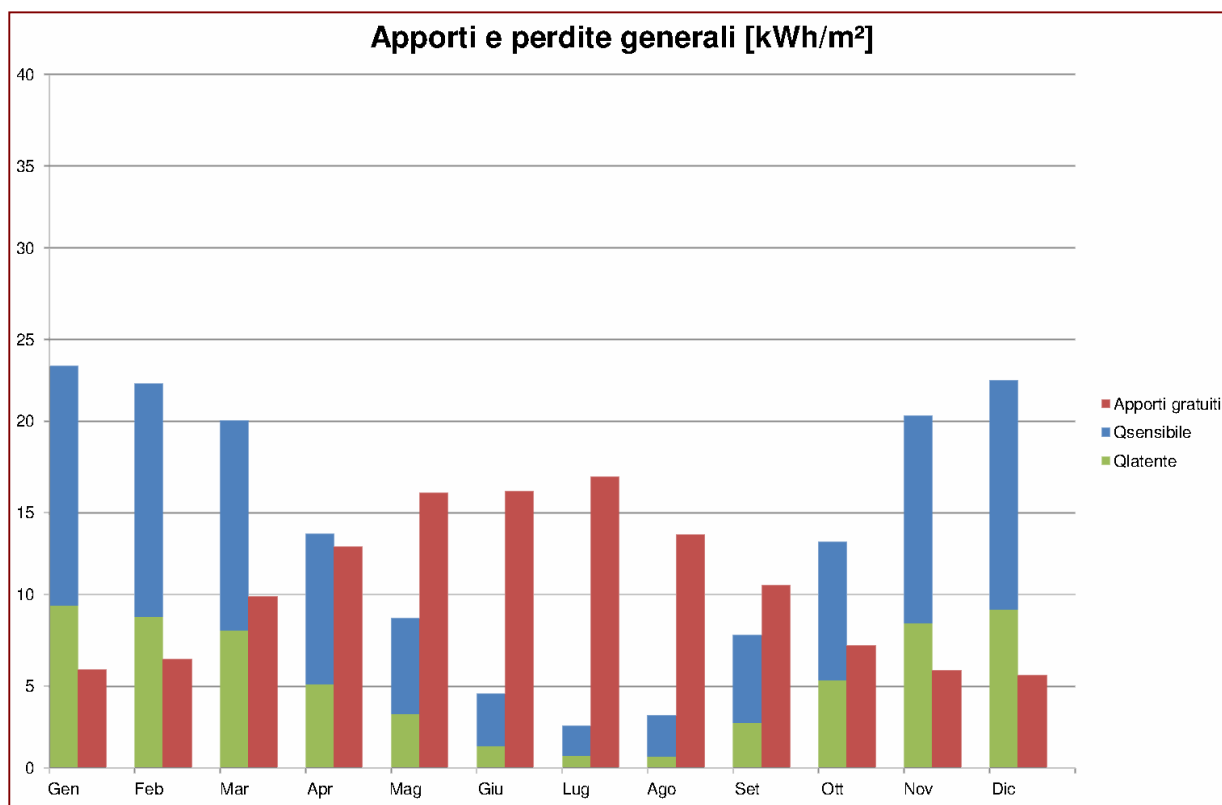


Figura 6.12 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 1.

– Delle vetrate doppie a lama d'argon sia per la prima pelle sia per la seconda pelle (fattore solare pari a 0,586 e trasmittanza termica pari a 1,06 W/(m².K)).

Abbiamo scelto due vetrate doppie per avere un trasmittanza totale della doppia pelle bassa e uno spazio fra le pelli caldo.

Nel primo grafico ci sono riportati i valori degli apporti gratuiti (Q_G), del fabbisogno di energia termica sensibile ($Q_{NH,s} + Q_{NC,s}$) e del fabbisogno di energia termica latente ($Q_{NH,l} + Q_{NC,l}$) per ogni mese. Come previsto i fabbisogni sono più importanti in inverno quando la temperatura esterna è bassa. Al contrario gli apporti gratuiti sono più importante in estate quando gli apporti solari sono massimi. Si può notare il percentuale elevato del fabbisogno di energia latente rispetto al fabbisogno di energia termica totale, questo è dovuto a un'umidità elevata dell'aria esterna.

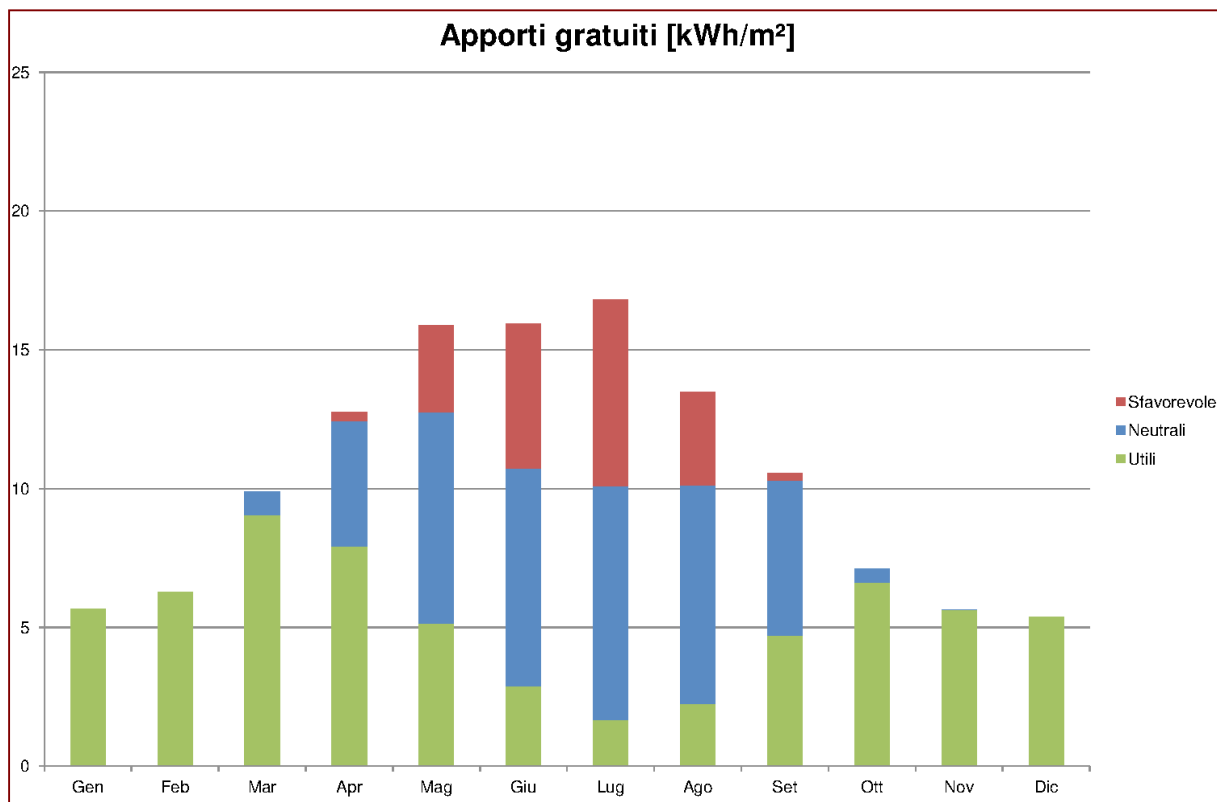


Figura 6.13 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 1.

Nel secondo grafico ci sono riportati i valori degli apporti gratuiti secondo il loro contributo: apporti utili ($Q_{G,H}$), apporti neutrali ($Q_{G,N}$) e apporti sfavorevole ($Q_{G,C}$).

Vediamo che in inverno gli apporti gratuiti sono interamente utili alla riduzione del fabbisogno di riscaldamento, al contrario in estate, per esempio in luglio, sono utili durante i pochi giorni freddi e sono per un terzo sfavorevoli perche causano un sovra riscaldamento e quindi un consumo maggiore per la climatizzazione.

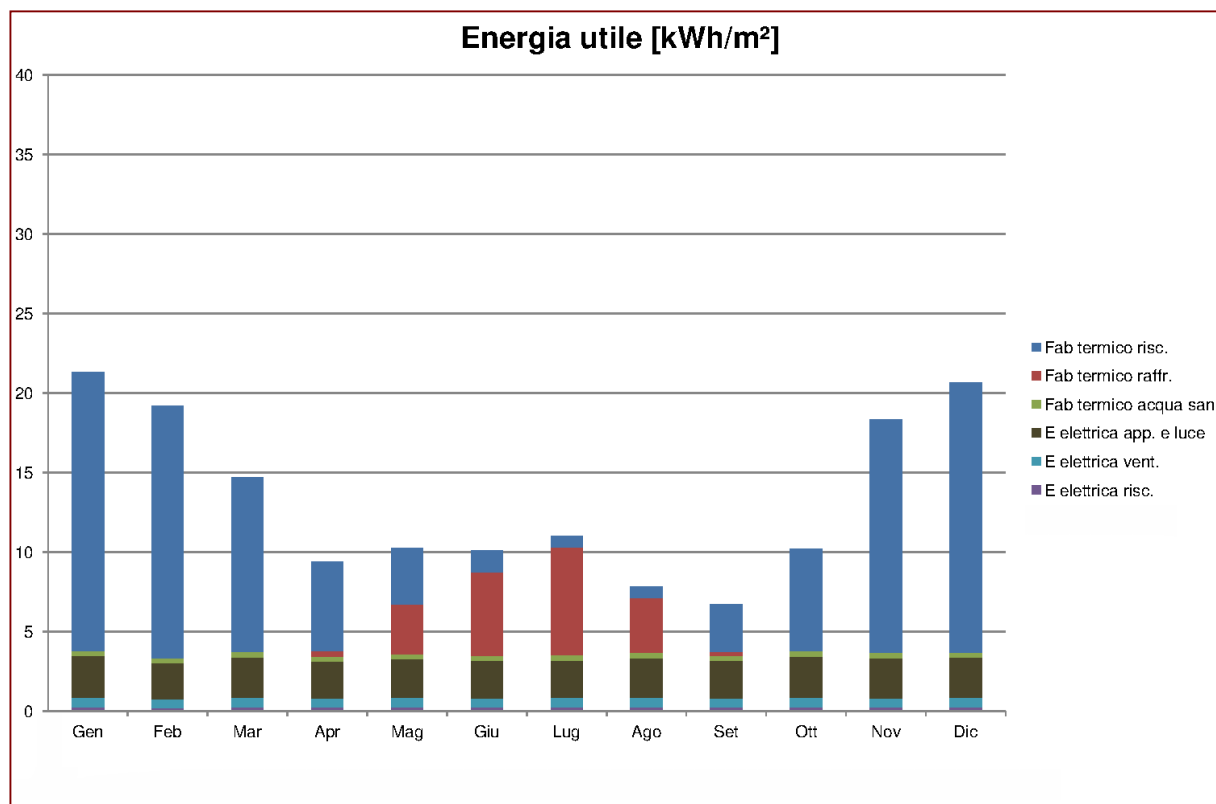


Figura 6.14 - Istogramma dell'energia utile nel caso 1.

Nel terzo grafico c'è riportato la ripartizione dell'energia utile (E_U) secondo i vari contributi: il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento (Q_{NH}), il fabbisogno di energia termica per il raffreddamento (Q_{CH}), il fabbisogno di energia termica per l'acqua calda sanitaria (Q_{DHW}), l'energia elettrica delle apparecchiature elettriche e della luce artificiale ($W_a + W_l$), l'energia elettrica per la ventilazione e la climatizzazione (W_v) e l'energia elettrica per il riscaldamento (W_H).

Se i fabbisogni per il riscaldamento e il raffreddamento variano molto lungo l'anno, gli altri contributi sono più costanti.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	591	1 069	1 041	2 107	1 062	320
Per metri quadri [kWh/m²]	35.2	63.6	62.0	125.4	63.2	19.0
Per metri cubi [kWh/m³]	8.4	15.2	14.8	29.9	15.1	4.5

Prospetto 6.5 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 1.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffreddamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 638	321	658	3 116	2 309
Per metri quadri [kWh/m²]	97.5	19.1	39.2	185.5	137.5
Per metri cubi [kWh/m³]	23.2	4.6	9.3	44.2	32.8

Prospetto 6.6 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 1.

Nella prima tabella ci sono riportate alcuni valori di perdite e apporti annuali. Questi valori sono dati in totale e rapportati al metro quadro e al metro cubo. Nella seconda tabella sono riportate alcuni valore di fabbisogni e consumi globali.

Abbiamo più di apporti gratuiti che di perdite, questo è dovuto all'assenza de protezioni solare nell'estate e all'importante contributo degli apporti interni (quasi la meta degli apporti gratuiti). In fine la meta degli apporti è utile e il 15% sfavorevole.

Quanto riguarda i fabbisogni, notiamo che se siamo in un clima freddo abbiamo comunque bisogno della climatizzazione in estate che rappresenta il 20% del fabbisogno per il riscaldamento. Il fabbisogno di energia elettrica è di 39,2 kWh/(m².a) il terzo del fabbisogno di energia termica.

L'energia primaria è del 137,5 kWh/(m².a) un valore alto se parliamo all'Italia ma non tanto per la Finlandia, vedremo nella conclusione e nel dettaglio i requisiti di norma e le classe energetiche finlandese. Si può osservare che l'energia primaria è del 25% ridotta rispetto all'energia finale perche usiamo fonte rinnovabile per il riscaldamento e la rete municipale per il raffrescamento.

INFLUENZA DELLE PERFORMANCE DEL RECUPERATORE DI CALORE

Per questi due casi facciamo variare l'efficienza del recuperatore di calore. Iniziamo con un recuperatore di calore meno performante:

$$\eta_{\text{calore}}=0,60 \text{ e } \eta_{\text{entalpia}}=0,50$$

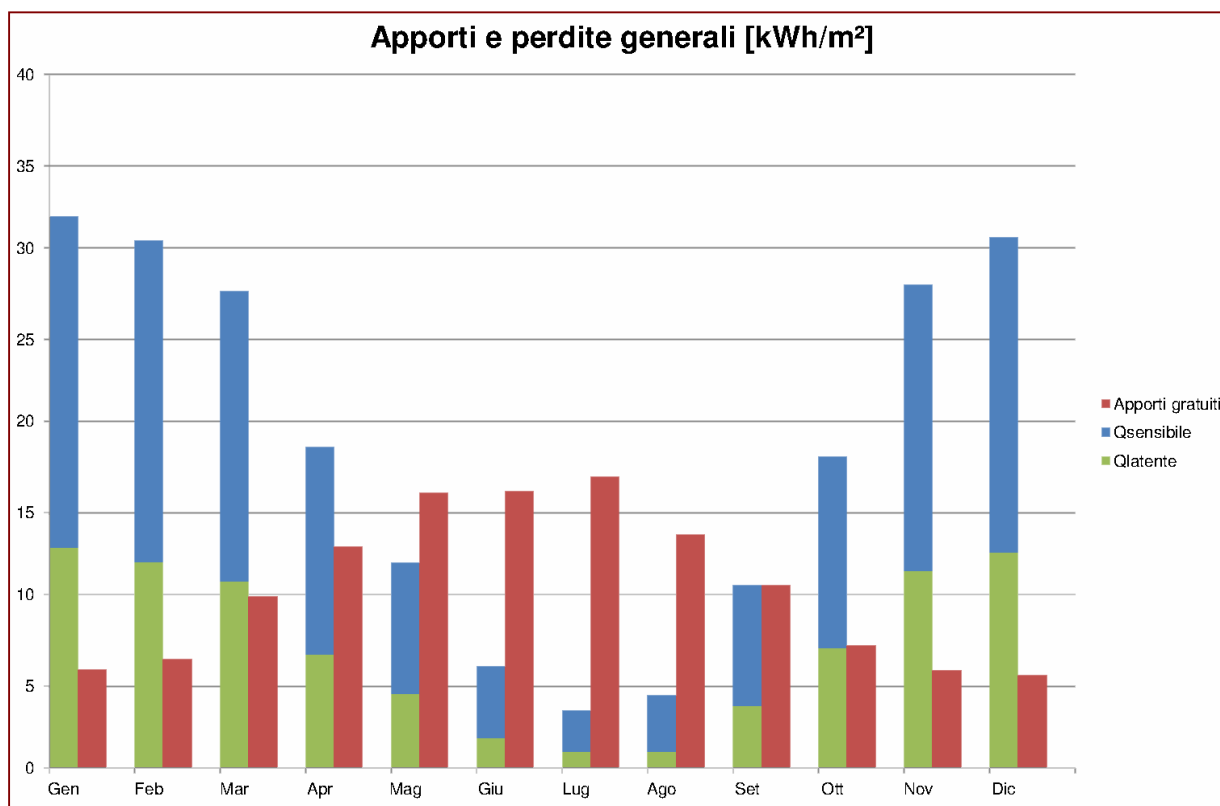


Figura 6.15 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 2.1.

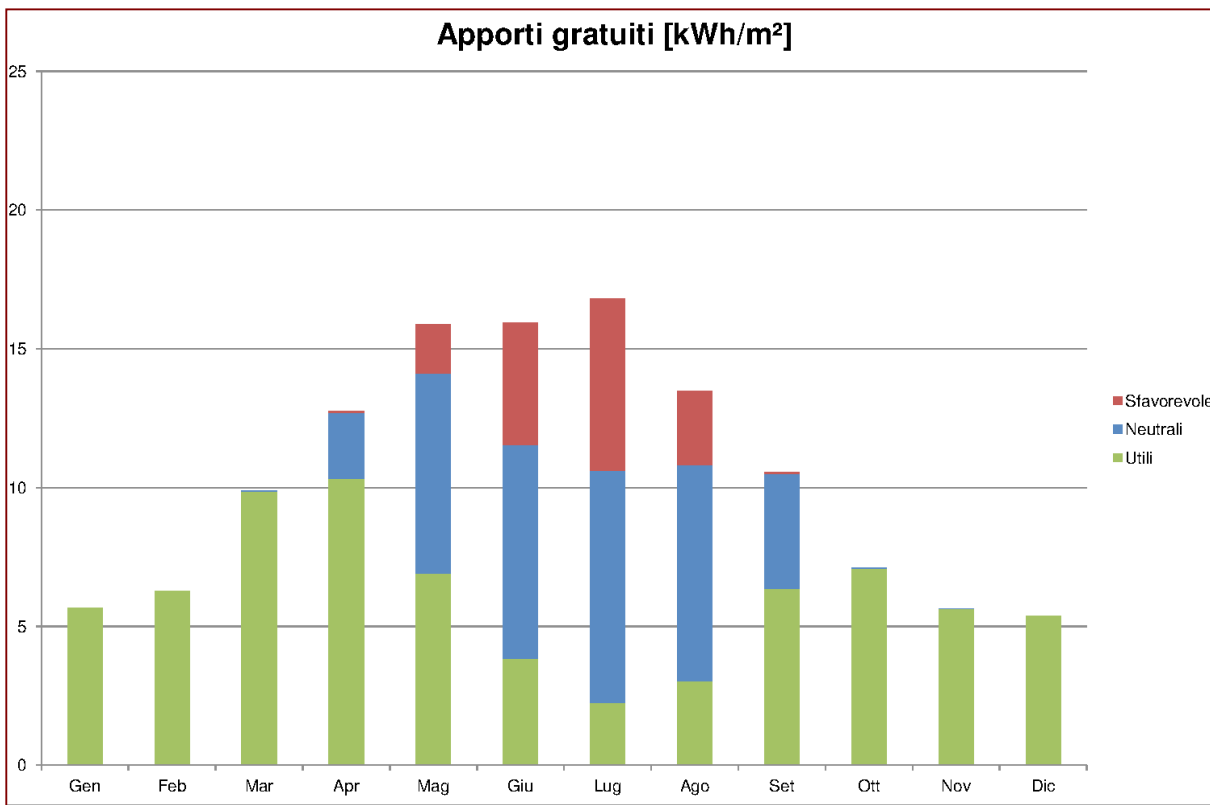


Figura 6.16 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 2.1.

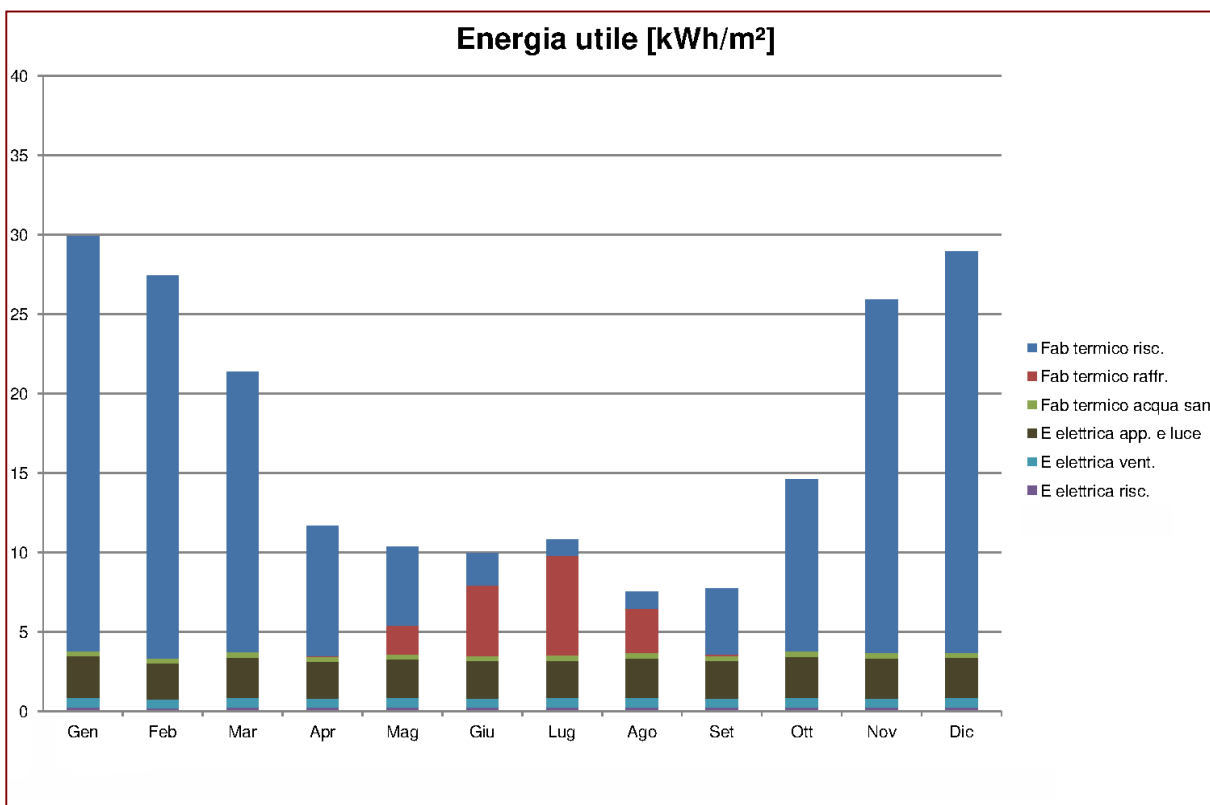


Figura 6.17 - Istogramma dell'energia utile nel caso 2.1.

Vediamo un incremento notevole delle perdite e quindi del fabbisogno in energia termica principalmente durante i mesi freddi.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	591	1 698	1 415	2 107	1 220	255
Per metri quadri [kWh/m ²]	35.2	101.1	84.2	125.4	72.6	15.2
Per metri cubi [kWh/m ³]	8.4	24.1	20.1	29.9	17.3	3.6

Prospetto 6.7 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 2.1.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	2 481	258	658	4 071	2 794
Per metri quadri [kWh/m ²]	147.7	15.4	39.2	242.3	166.3
Per metri cubi [kWh/m ³]	35.2	3.7	9.3	57.7	39.6

Prospetto 6.8 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 2.1.

Le perdite per ventilazione aumentano del 65% rispetto al caso di riferimento, questo ha come conseguenza di utilizzare un po' più di maniera positiva gli apporti gratuiti (apporti utili +15%, apporti sfavorevoli -20%) ma è l'unico punto positivo. Globalmente l'effetto è di peggiorare il consumo di energia. L'energia finale aumenta di quasi 60 kWh/(m².a) (+32%) e l'energia primaria aumenta di circa 30 kWh/(m².a) (+22%).

Il secondo caso usa un recuperatore di calore ad alto rendimento con $\eta_{\text{calore}}=0,90$ e $\eta_{\text{entalpia}}=0,80$.

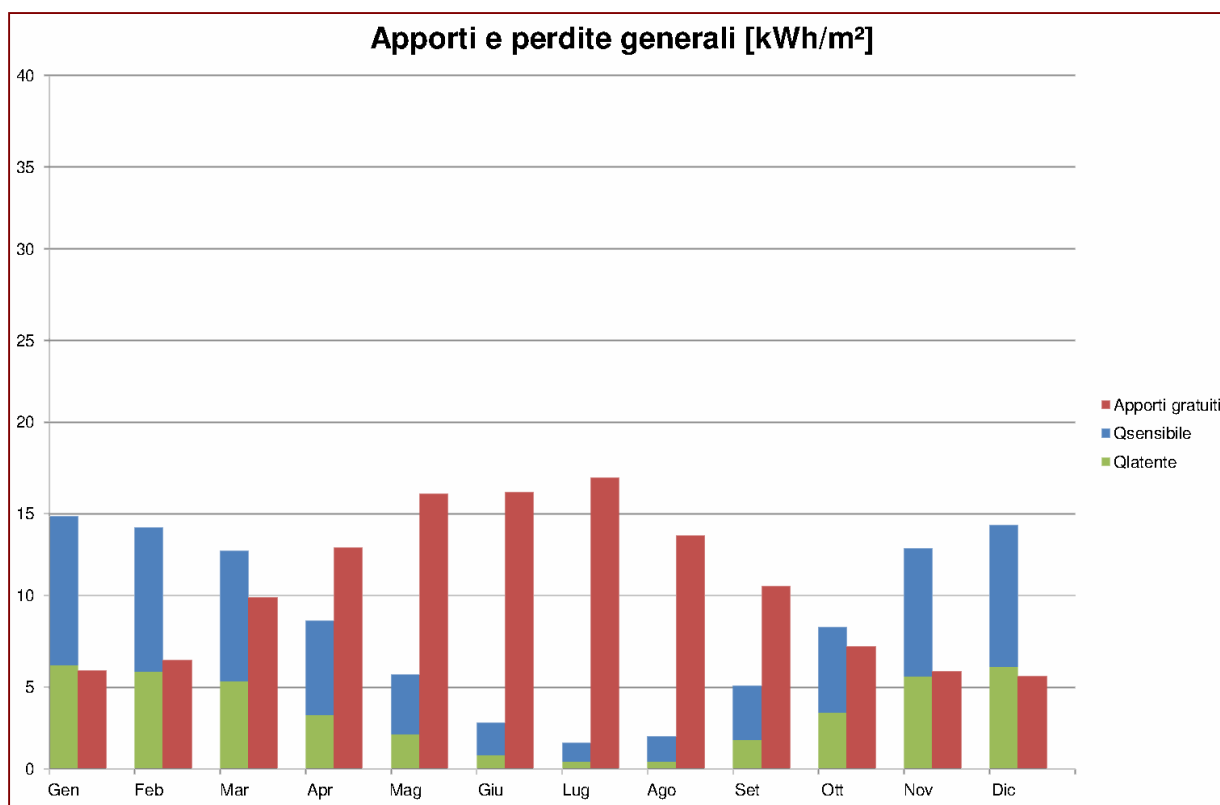


Figura 6.18 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 2.2.

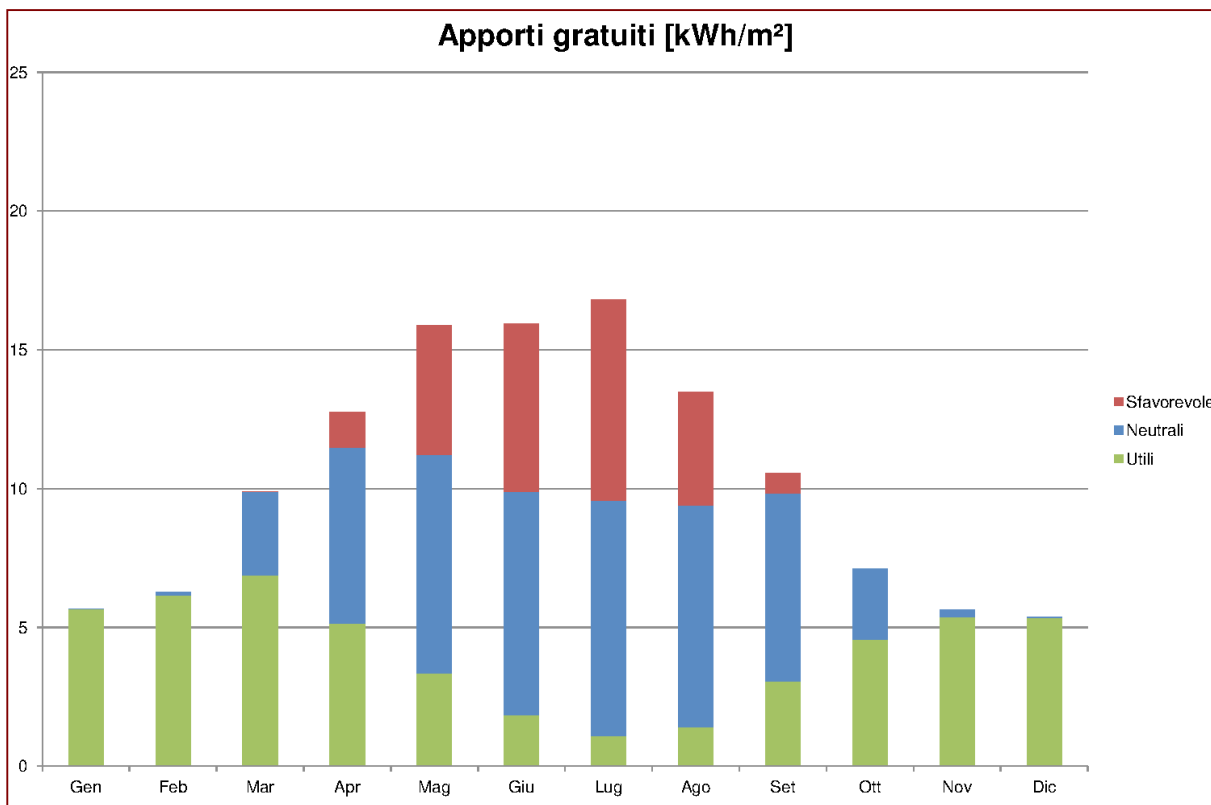


Figura 6.19 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 2.2.

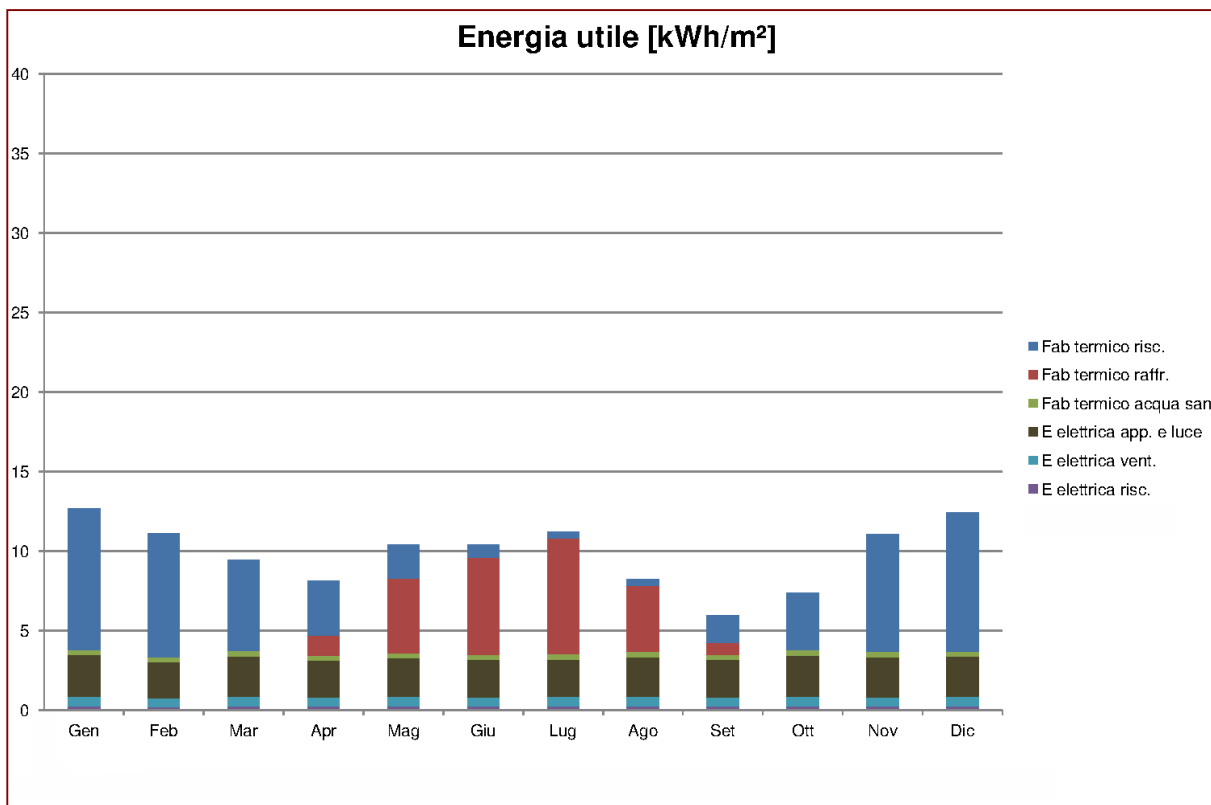


Figura 6.20 - Istogramma dell'energia utile nel caso 2.2.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	591	440	668	2 107	838	405
Per metri quadri [kWh/m ²]	35.2	26.2	39.8	125.4	49.9	24.1
Per metri cubi [kWh/m ³]	8.4	6.2	9.5	29.9	11.9	5.7

Prospetto 6.9 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 2.2.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	860	406	658	2 267	1 875
Per metri quadri [kWh/m ²]	51.2	24.2	39.2	135.0	111.6
Per metri cubi [kWh/m ³]	12.2	5.8	9.3	32.2	26.6

Prospetto 6.10 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 2.2.

L'effetto ottenuto nel secondo caso è il contrario del primo: le perdite per ventilazione sono ridotte di più della metà (da 63,6 kWh/(m².a) a 26,2 kWh/(m².a)) con un aumento degli apporti gratuiti sfavorevole del 27%. Globalmente l'effetto è una grande riduzione dei consumi energetici. L'energia finale è ridotta di 50 kWh/m² (-27%) e l'energia primaria è ridotta di 26 kWh/(m².a) (-19%).

L'effetto dell'efficienza del recuperatore di calore ha un effetto molto importante sui consumi energetici, è quindi indispensabile di scegliere il recuperatore con le performance le più elevate.

INFLUENZA DELLO SPESSORE DI ISOLAMENTO

Con questo caso valutiamo i benefici di un aumento dello spessore d'isolamento. Lo spessore sarà preso a 30 cm per tutte le superfici (in contatto coll'esterno o con il terreno, orizzontali o verticali). Migliorammo così la trasmittanza termica da 0,191 a 0,130 W/(m².K) per le pareti contro terra (peggio trasmittanza) o da 0,112 a 0,086 W/(m².K) per le pareti strutturali con vano per impianti (migliora trasmittanza).

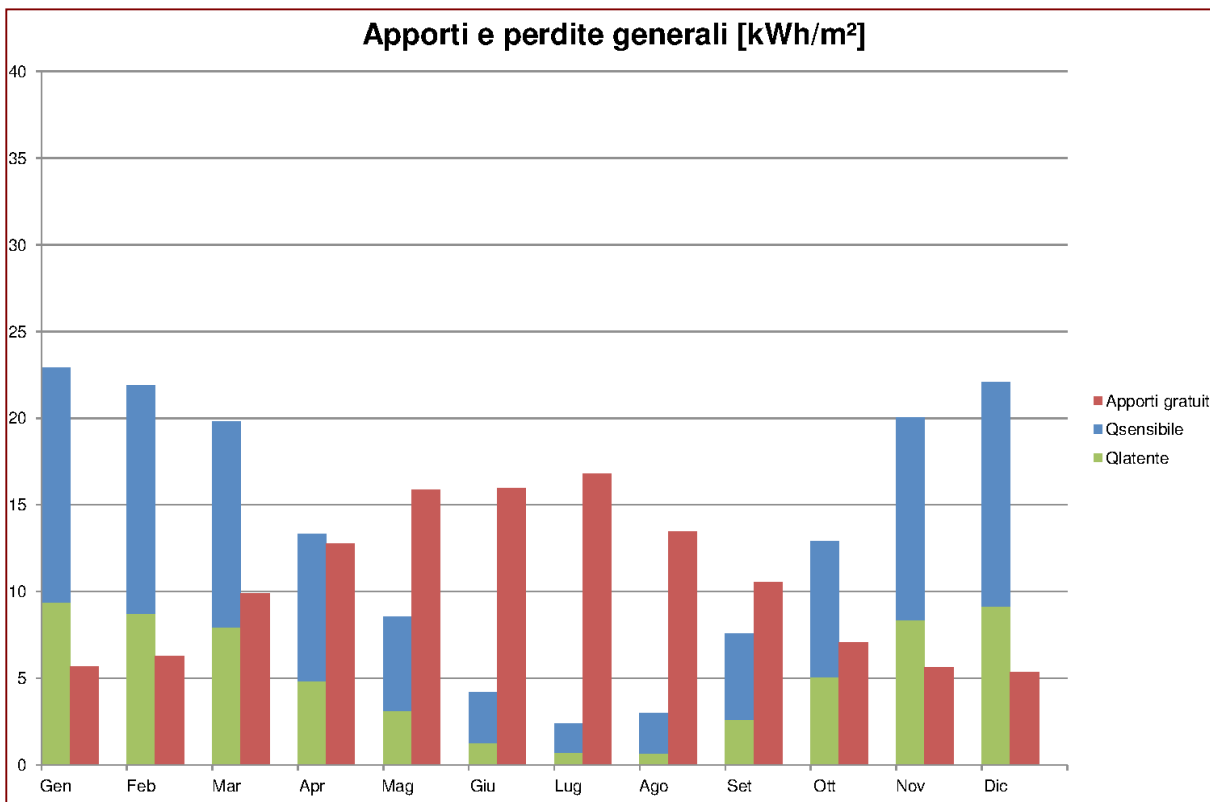


Figura 6.21 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 3.

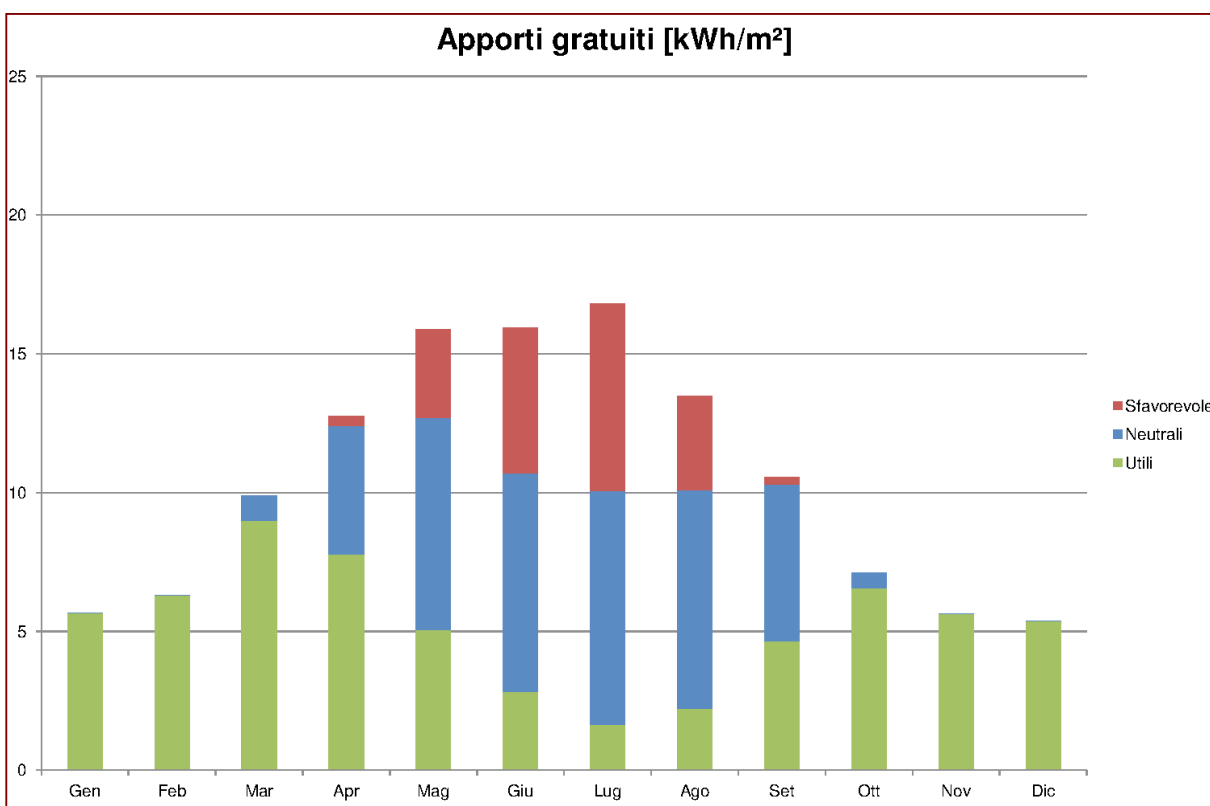


Figura 6.22 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 3.

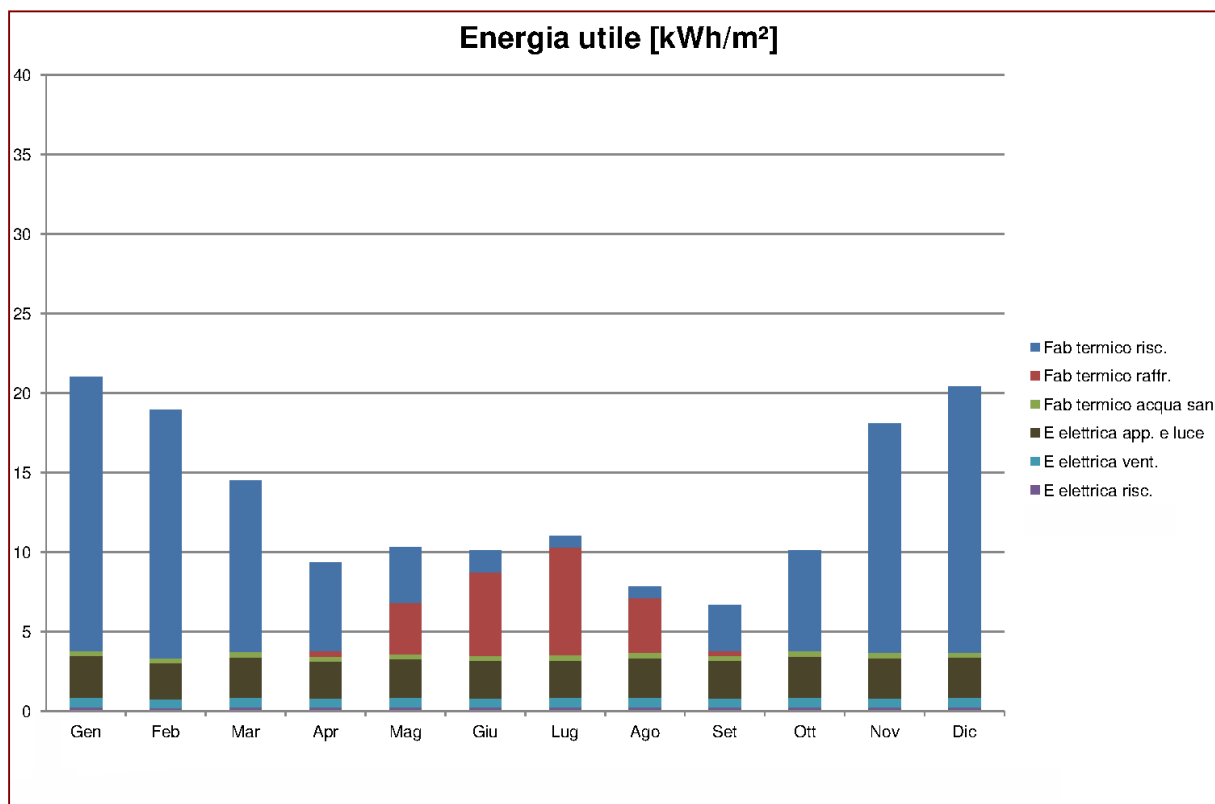


Figura 6.23- Istogramma dell'energia utile nel caso 3.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	556	1 069	1 041	2 107	1 053	322
Per metri quadri [kWh/m²]	33.1	63.6	62.0	125.4	62.7	19.2
Per metri cubi [kWh/m³]	7.9	15.2	14.8	29.9	14.9	4.6

Prospetto 6.11 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 3.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 612	324	658	3 089	2 295
Per metri quadri [kWh/m²]	96.0	19.3	39.2	183.9	136.6
Per metri cubi [kWh/m³]	22.9	4.6	9.3	43.8	32.6

Prospetto 6.12 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 3.

Un incremento dell'isolamento ha un effetto sulle perdite per trasmissione ma relativamente debole. In effetto abbiamo delle grande superfici vetrate che contano per i due terzi delle perdite termiche attraverso l'involucro dell'edificio. Di più c'è la seconda pelle, in vetro doppio, che ricopre una parte delle pareti opache, riducendo ancora l'impatto dello spessore d'isolamento.

Il costo di 10 cm di isolamento di più è di 19 €/m² per la lana minerale e di 50 €/m² per il vetro cellulare. In totale il costo è di circa 410 000 €. L'economia di energia è di 30 240 kWh, con un prezzo di 5¢/kWh per il riscaldamento al legno, l'economia è di 1512 € per anno. Non è quindi interessante di aumentare lo spessore di isolamento.

INFLUENZA DEL TIPO DI VETRATE

In questo caso cambiamo le vetrate della doppia pelle. Usiamo un vetro semplice per la seconda pelle ($g=0,83$, $U=5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) e un vetro triplo a lama d'argento per la prima pelle (lo stesso che per le parete vetrate del piano rialzato, $g=0,451$, $U=0,59 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).

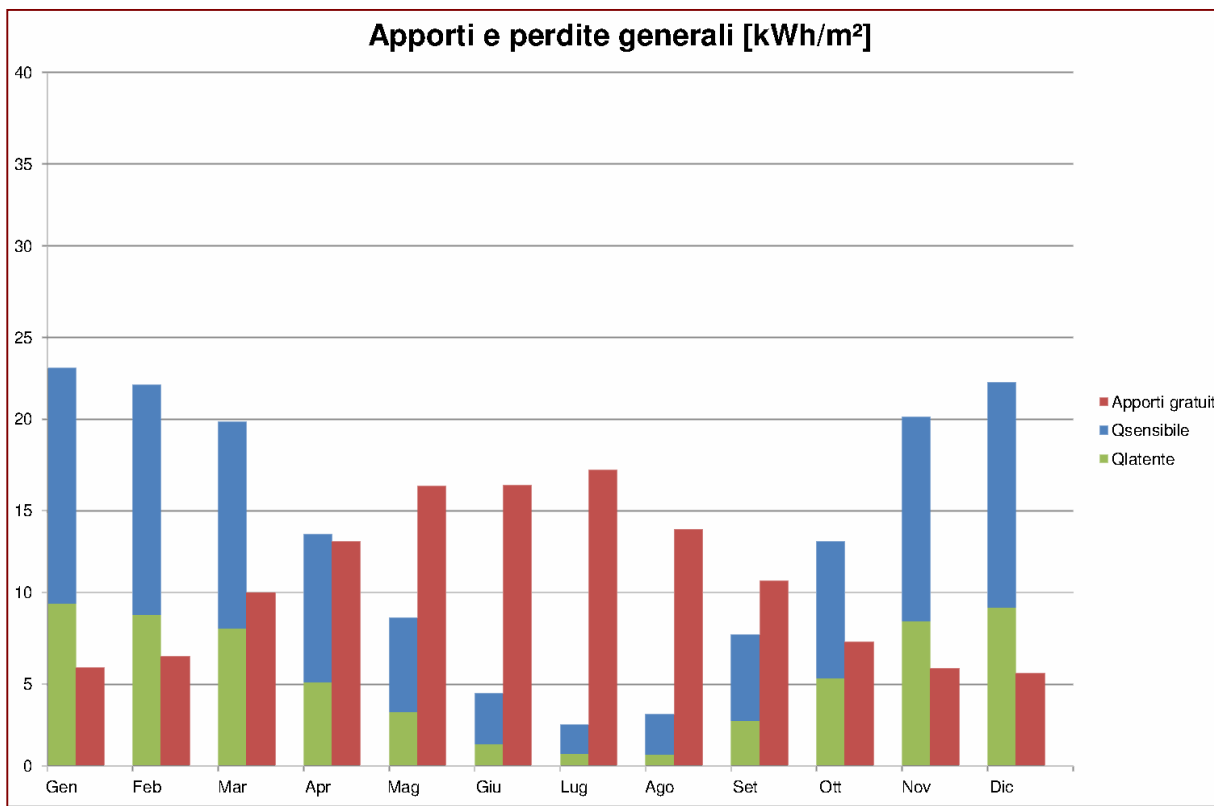


Figura 6.24 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 4.

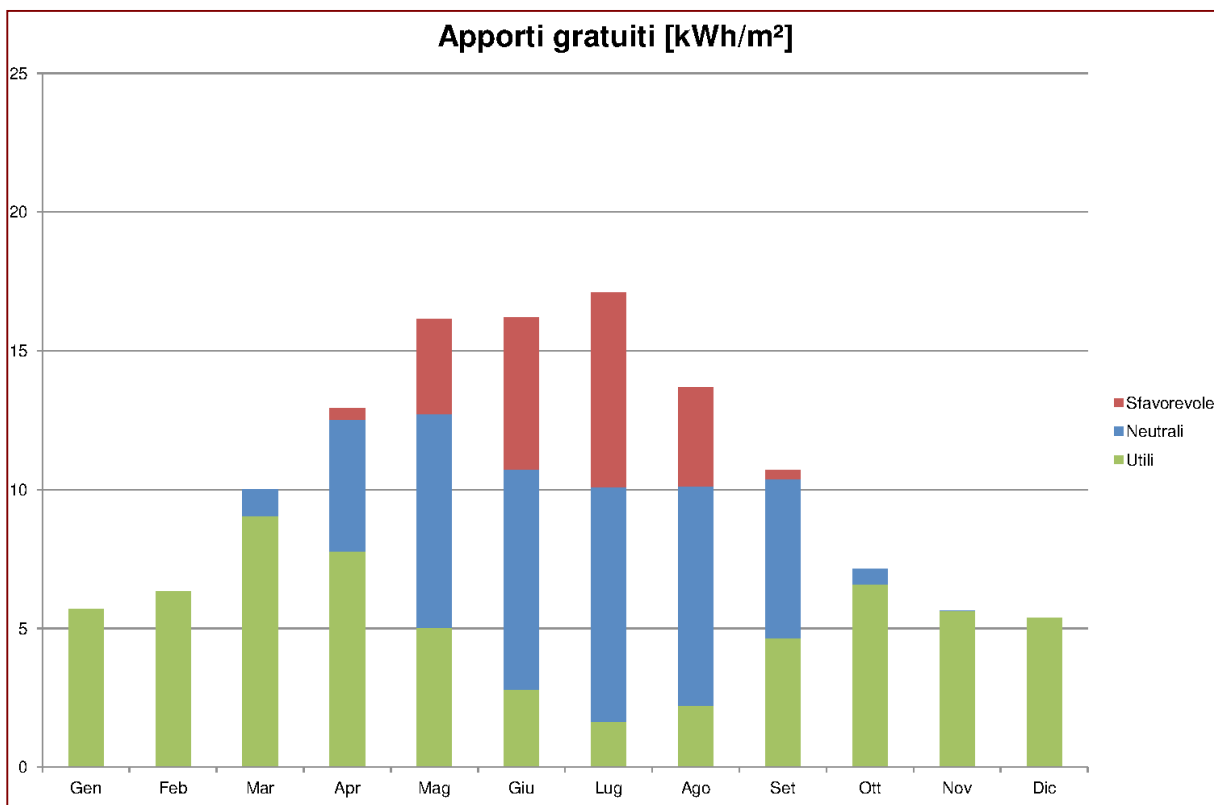


Figura 6.25 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 4.

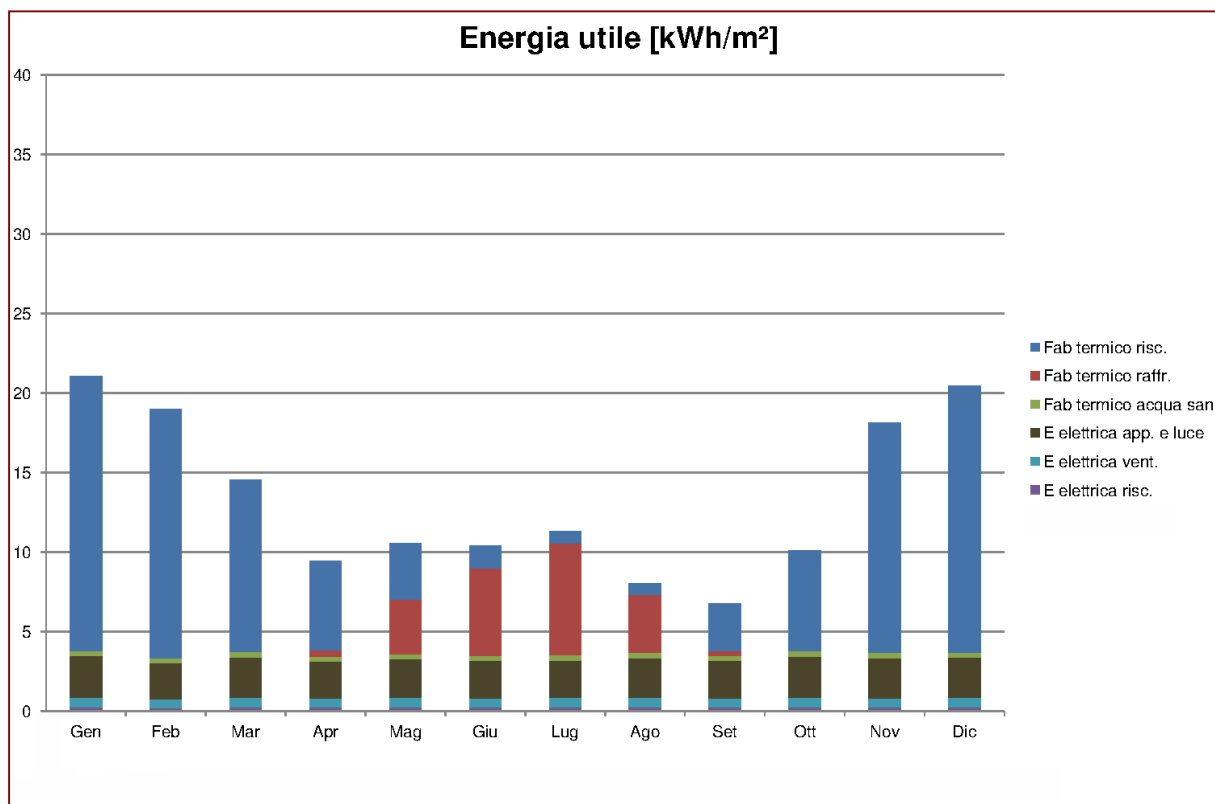


Figura 6.26 - Istogramma dell'energia utile nel caso 4.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	564	1 069	1 041	2 133	1 054	340
Per metri quadri [kWh/m²]	33.6	63.6	62.0	127.0	62.8	20.2
Per metri cubi [kWh/m³]	8.0	15.2	14.8	30.3	15.0	4.8

Prospetto 6.13 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 4.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 618	342	658	3 117	2 307
Per metri quadri [kWh/m²]	96.3	20.3	39.2	185.5	137.3
Per metri cubi [kWh/m³]	23.0	4.8	9.3	44.2	32.7

Prospetto 6.14 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 4.

Il duo vetro triplo più vetro semplice è leggermente più performante per l'isolamento termico rispetto a due lastre di vetro doppio. Le perdite per trasmissione sono quindi ridotte di 1,6 kWh/(m².a).

Queste vetrate lasciano passare più di energia solare, lo che influenza sui contributi solari sfavorevoli che aumentano di 1,2 kWh/(m².a).

Quanto riguarda i fabbisogni, quello per il riscaldamento diminuisce ma quello per il raffrescamento aumenta.

In fine i diversi contributi si equilibrano e l'energia finale anziché l'energia primaria sono quasi uguale al caso di riferimento.

I vantaggi di una soluzione sull'altra sono a cercare nel prezzo delle vetrate. Una vetrata semplice costa circa 20 €/m², una vetrata doppia 75 €/m² e una vetrata tripla 120 €/m². La superficie vetrata della prima pelle è di 2500 m², quella della seconda pelle è di 4500 m². In totale il prezzo della soluzione di riferimento è di 525 000 € e quello della soluzione alternativa è di 390 000 €, ie -26%.

Altre soluzioni esistono come per esempio usare una vetrata doppia per la seconda pelle e una vetrata tripla per la prima pelle. Questo conduce a un'economia di energia di 1180 €/anno rispetto alla soluzione precedente, ma per un costo supplementare di 247 500 €. Non è quindi interessante.

Al contrario possiamo diminuire la resistenza termica delle doppia pelle usando un vetro semplice per la seconda pelle e un vetro doppio per la prima pelle. Questa soluzione costa 112 500 € di meno che la soluzione semplice+triplo, ma occasiona delle spese di riscaldamento superiore di 4450 €. In 25 anno la soluzione semplice+triplo divenne la meno costosa (ancora meno se consideriamo le spese supplementare di climatizzazione).

Considerando tutti i costi e i consumi energetici, la soluzione migliore è di usare un vetro semplice per la seconda pelle e un vetro triplo per la prima pelle.

INFLUENZA DELLE SCHERMATURE

Per valutare l'impatto delle schermature usiamo due parametri. Il primo è il livello d'irraggiamento esterno a partire dal cui usiamo le schermature. Il secondo parametro è il fattore di riduzione dovuto alle schermature: $F_{(sh+gl)}$.

Per il primo caso prendiamo come livello limite di irraggiamento 2500 W/m². Questo corrisponde ad un uso ridotto delle schermature, unicamente durante le ore le più calde dei mesi d'estate. Per il fattore di riduzione, prendiamo 0,6, questo valore corrisponde all'uso di tende in tessuto colorato messe all'interno della biblioteca.

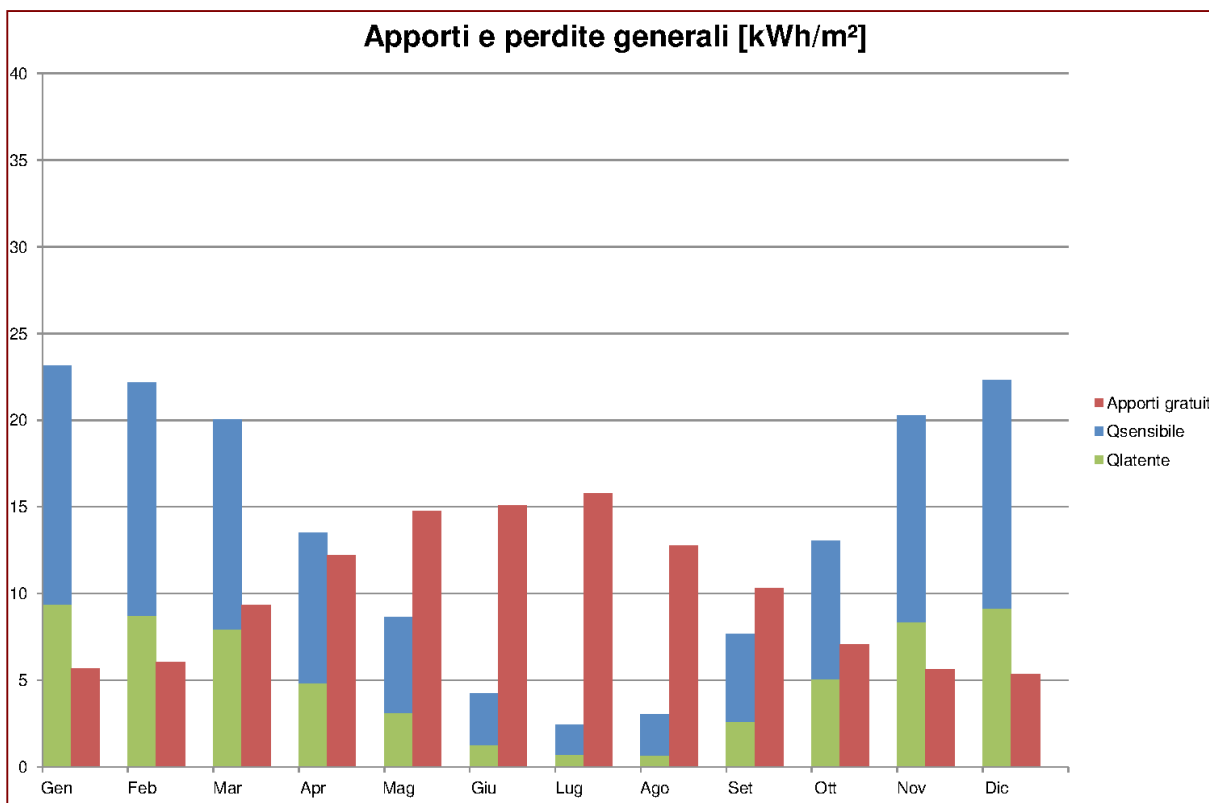


Figura 6.27 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.1.

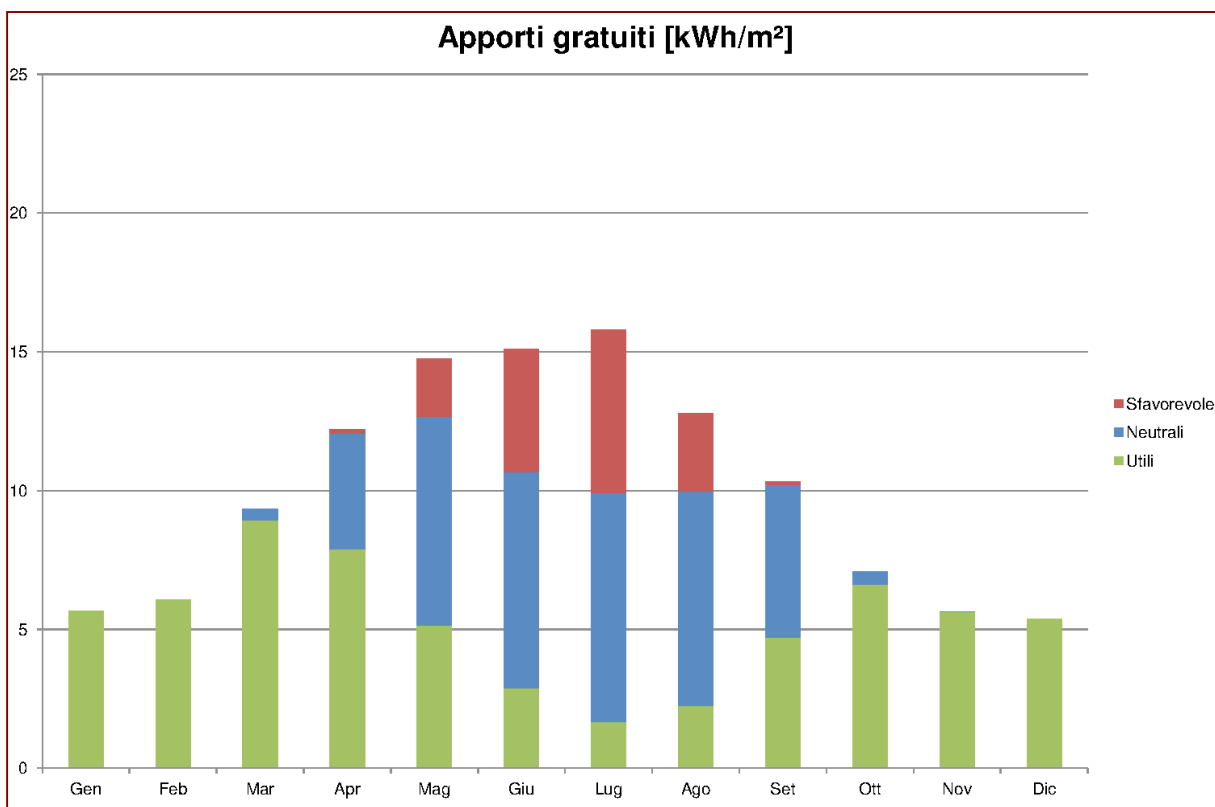


Figura 6.28 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.1.

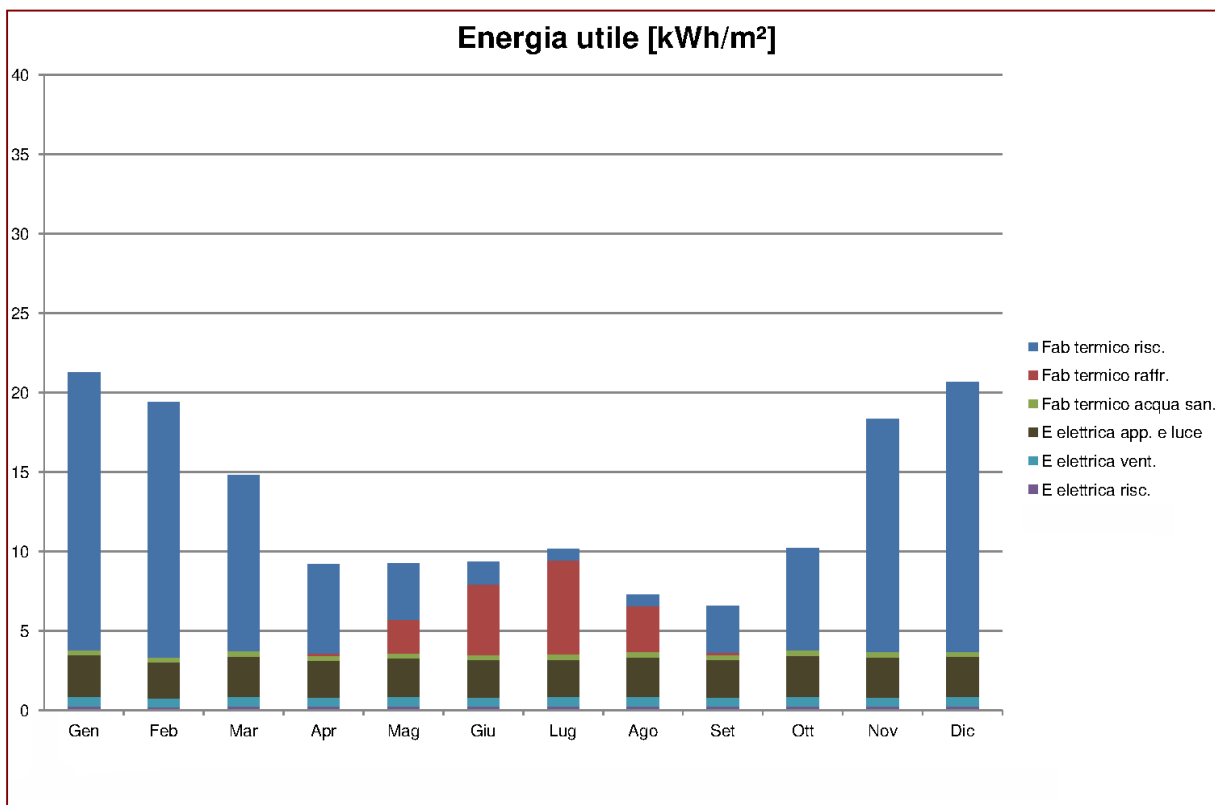


Figura 6.29 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.1.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	588	1 069	1 041	2 019	1 056	260
Per metri quadri [kWh/m ²]	35.0	63.6	62.0	120.2	62.8	15.5
Per metri cubi [kWh/m ³]	8.3	15.2	14.8	28.6	15.0	3.7

Prospetto 6.15 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.1.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 641	262	658	3 049	2 283
Per metri quadri [kWh/m ²]	97.7	15.6	39.2	181.5	135.9
Per metri cubi [kWh/m ³]	23.3	3.7	9.3	43.2	32.4

Prospetto 6.16 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.1.

Con questa soluzione riduciamo gli apporti solari nei mesi di maggio ad agosto. Questa riduzione è principalmente effettuata sugli apporti sfavorevoli, di conseguenza il fabbisogno di raffrescamento è ridotto di 3,5 kWh/(m².a) mentre il fabbisogno di riscaldamento rimane lo stesso. In fine l'energia primaria è abbassata di 1,6 kWh/(m².a).

Le simulazioni illuminotecniche mostrano che con questa soluzione il livello di illuminazione rimane accettabile nella biblioteca. La soluzione è quindi interessante.

Proviamo per il secondo caso di usare delle veneziane bianche come tende, quelle hanno un fattore di riduzione di 0,3 quando messe all'interno. Il livello limite di irraggiamento rimane a 2500 W/m².

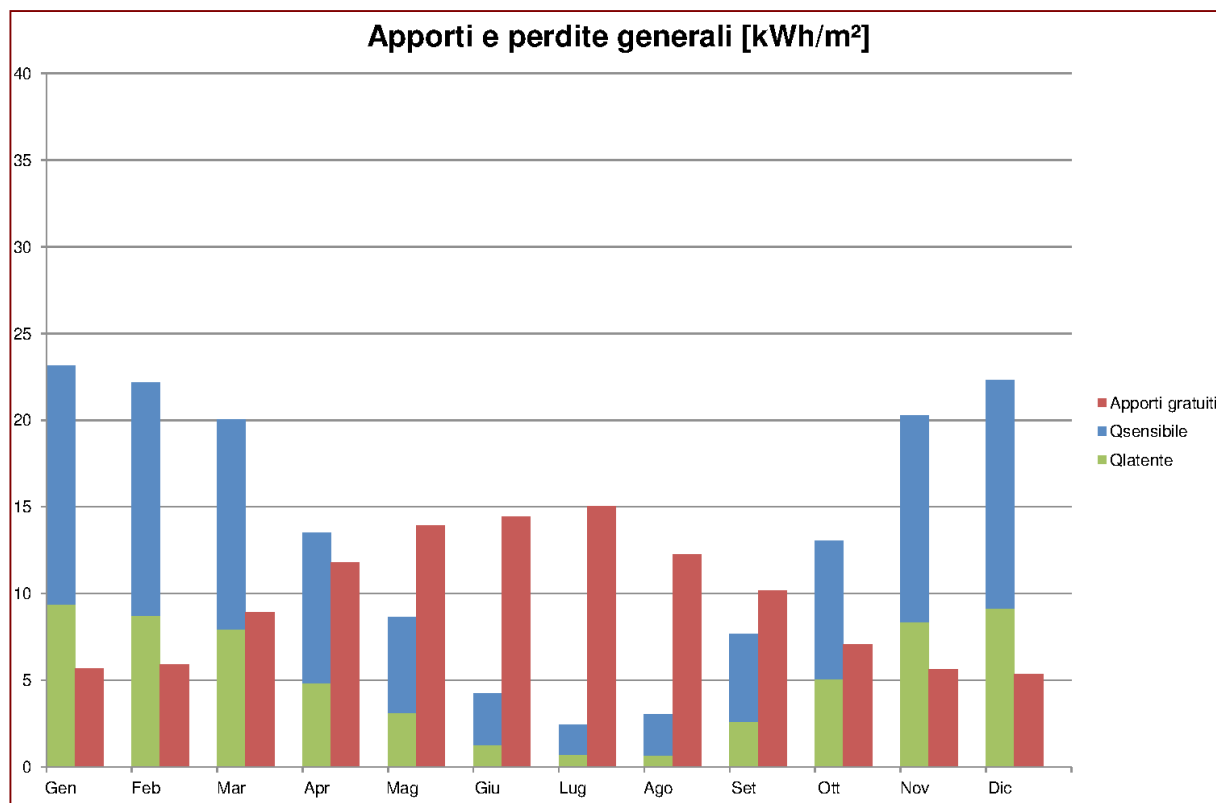


Figura 6.30 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.2.

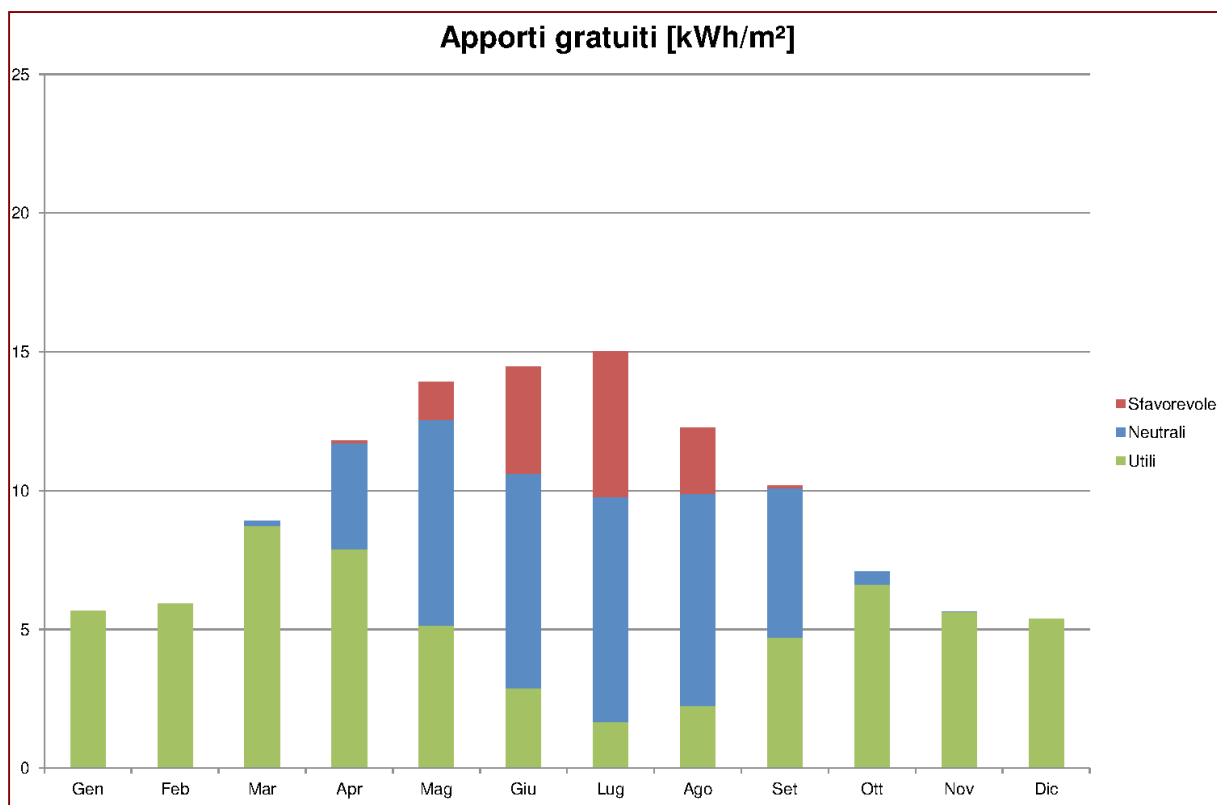


Figura 6.31 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.2.

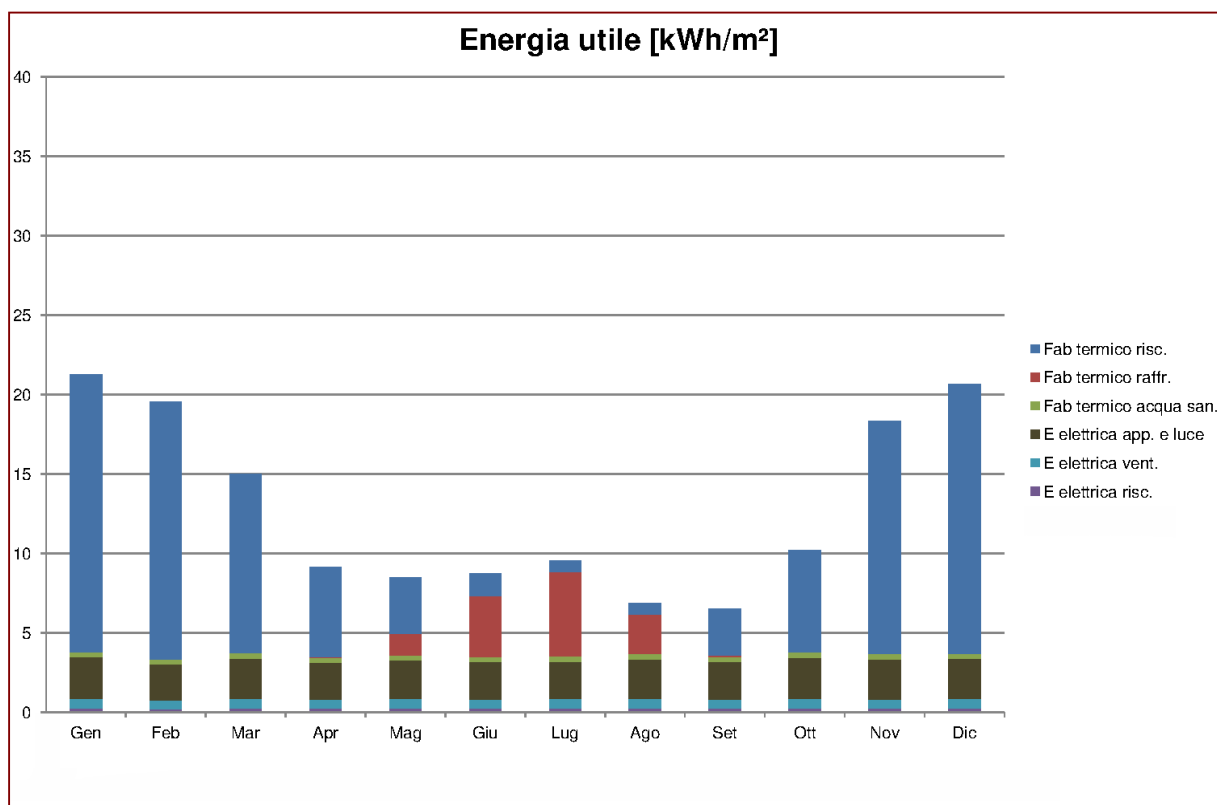


Figura 6.32 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.2.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	588	1 069	1 041	1 953	1 050	219
Per metri quadri [kWh/m ²]	35.0	63.6	62.0	116.3	62.5	13.0
Per metri cubi [kWh/m ³]	8.3	15.2	14.8	27.7	14.9	3.1

Prospetto 6.17 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.2.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 647	221	658	3 006	2 267
Per metri quadri [kWh/m ²]	98.0	13.1	39.2	179.0	134.9
Per metri cubi [kWh/m ³]	23.4	3.1	9.3	42.6	32.2

Prospetto 6.18 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.2.

Come nel caso precedente, gli apporti solari sono ridotti nei mesi di maggio ad agosto. Gli apporti sfavorevoli decrescono di 6 kWh/(m².a) (-32%) mentre gli apporti utili decrescono di 0,7 kWh/(m².a) (-1,1%). Come precedentemente il fabbisogno di raffrescamento è abbassato (-6 kWh/(m².a) o -32%) mentre il fabbisogno di riscaldamento rimane quasi uguale.

Purtroppo se i guadagni di energia sono importanti le perdite di luce sono troppo forte è necessitano l'accensione delle luce artificiale. La soluzione non è quindi pertinente.

Nel terzo e ultimo caso proviamo una strategia di riduzione dei guadagni sfavorevole differente. Usiamo delle tende in tessuto colorato come nel primo caso ma con un livello limite di irraggiamento 1500 W/m^2 . L'uso delle schermature inizia quindi primo nell'anno durante poche ore della giornata, l'effetto in estate è un uso durante un numero maggiore di ore.

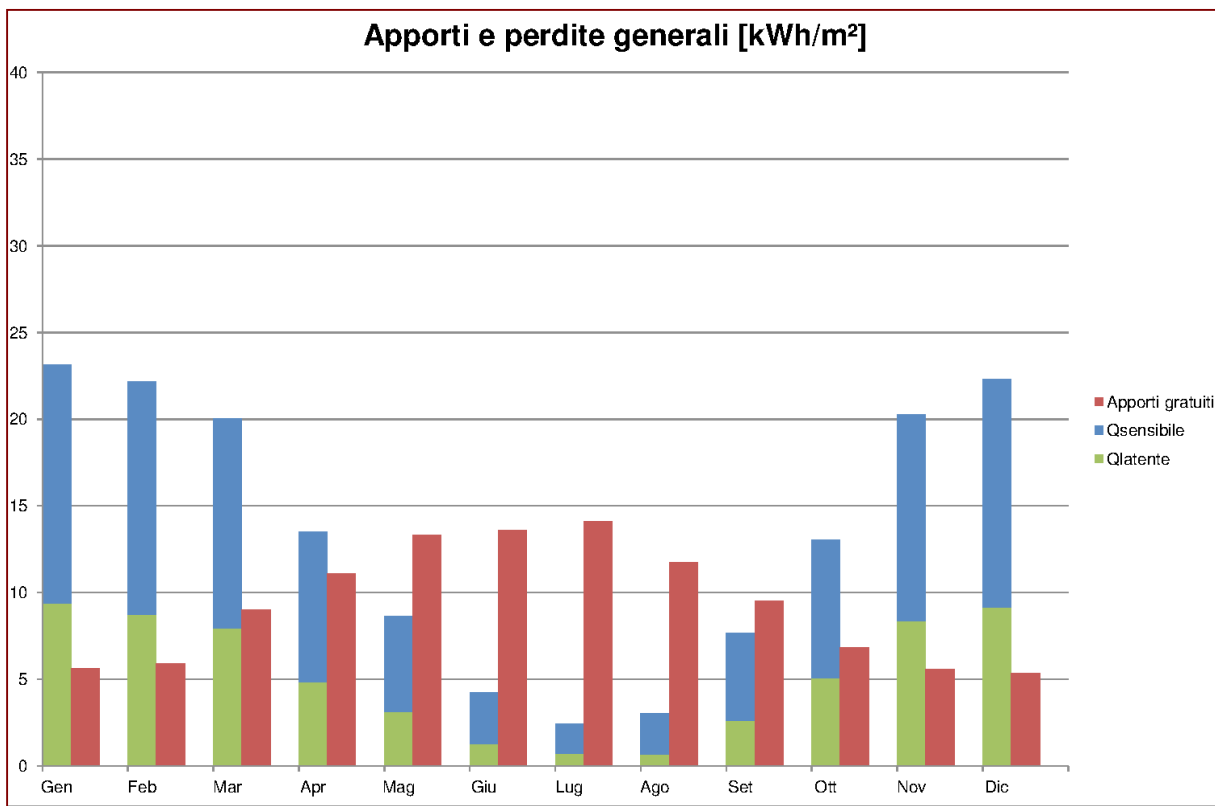


Figura 6.33 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.3.

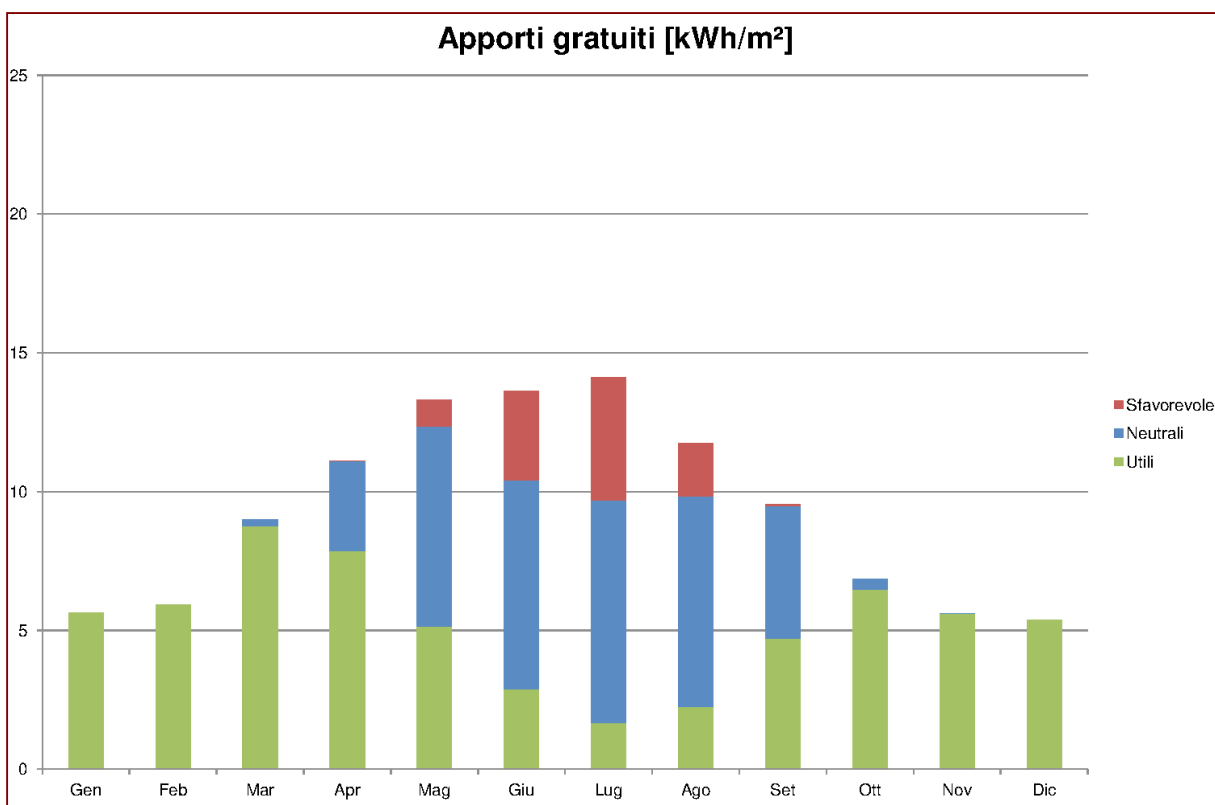


Figura 6.34 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.3.

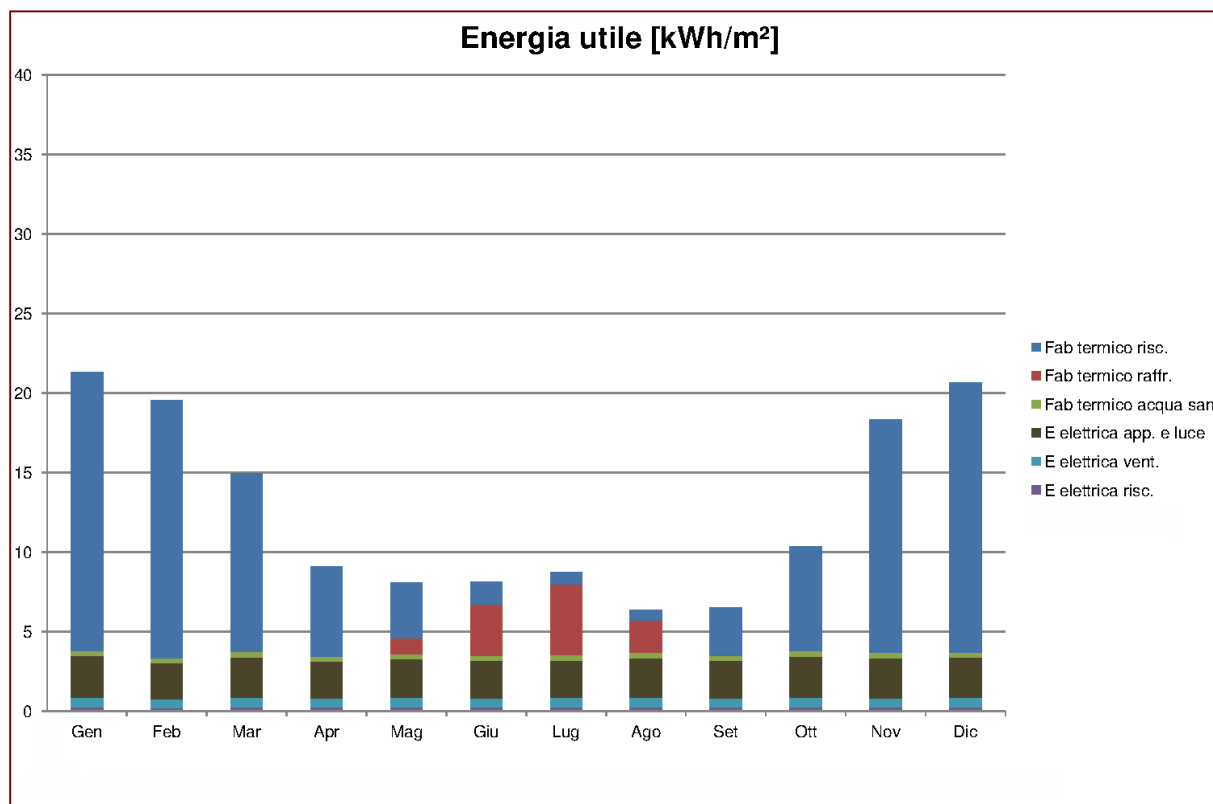


Figura 6.35 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.3.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	588	1 069	1 041	1 880	1 047	178
Per metri quadri [kWh/m²]	35.0	63.6	62.0	111.9	62.3	10.6
Per metri cubi [kWh/m³]	8.3	15.2	14.8	26.7	14.8	2.5

Prospetto 6.19 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.3

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	1 650	180	658	2 962	2 249
Per metri quadri [kWh/m²]	98.2	10.7	39.2	176.3	133.9
Per metri cubi [kWh/m³]	23.4	2.6	9.3	42.0	31.9

Prospetto 6.20 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.3.

Con questa soluzione riusciamo a diminuire ancora di più gli apporti gratuiti sfavorevoli (-8,4 kWh/(m².a) o -44%). Gli apporti utili diminuiscono anche un po' più ma come negli altri casi l'effetto globale è positivo. La riduzione del fabbisogno di raffrescamento è molto maggiore all'aumento di fabbisogno di riscaldamento. In fine l'energia primaria è di 133,9 kWh/(m².a) (-3,6 kWh/(m².a)).

Con questa soluzione il livello di illuminazione nella biblioteca rimane sufficiente. È quindi la soluzione la più performante al livello energetico che non necessita una consumo maggiore di luce.

Conclusione

Da tutti i casi che abbiamo studiati ritenemmo che le performance del recuperatore di calore sono critiche perché abbiamo dei grandi bisogni energetici per la ventilazione. Al contrario non è necessario aumentare le performance delle pareti aggiungendo 10 cm di isolamento. Il sovra costo della misura non è giustificato. Quanto riguarda le vetrate, usare un vetro semplice e un vetro triplo conduce alle stesse performance energetiche, ma riduce i costi. Finalmente l'uso di schermature mobili permette di ridurre gli apporti gratuiti sfavorevoli. La soluzione con tende di tessuto, usate quando il livello d'irraggiamento oltrepassa 1500 W/m^2 è il migliore compromesso fra guadagni energetici e preservazione del livello di illuminazione.

Facciamo quindi i calcoli con tutte queste misure.

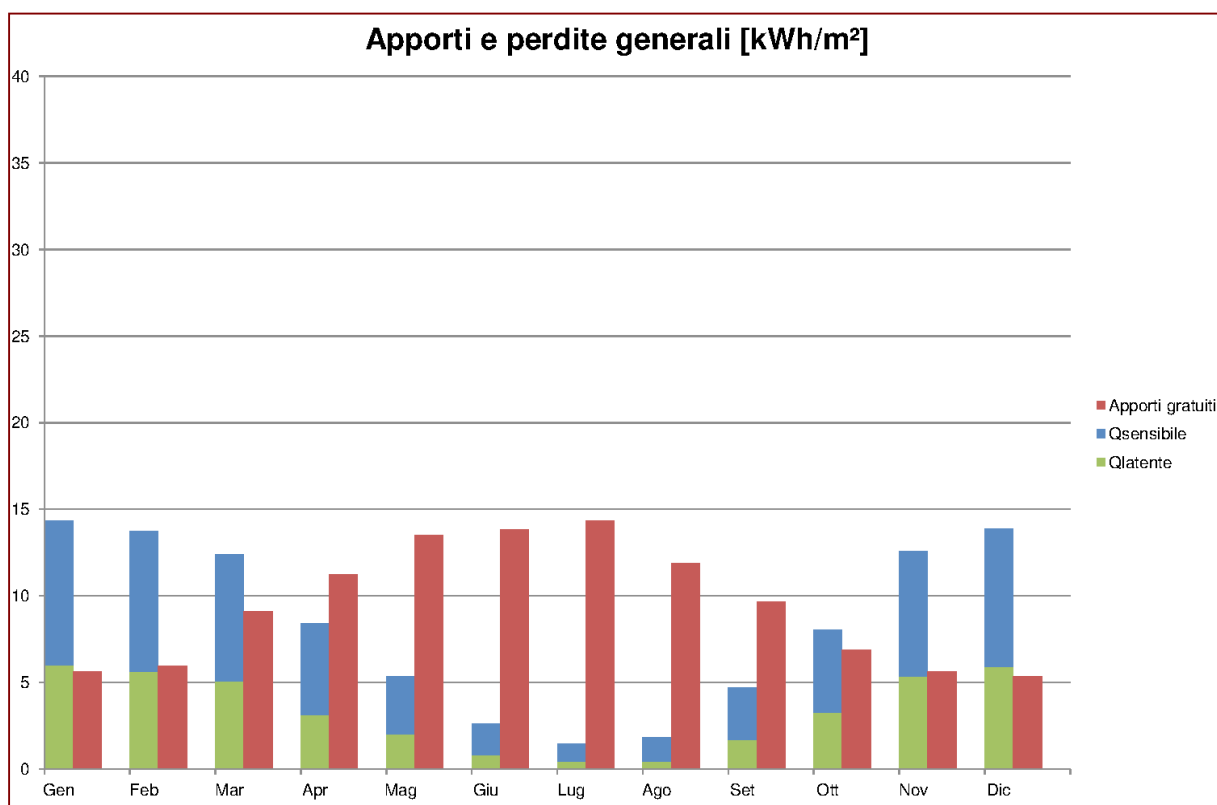


Figura 6.36 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 6.

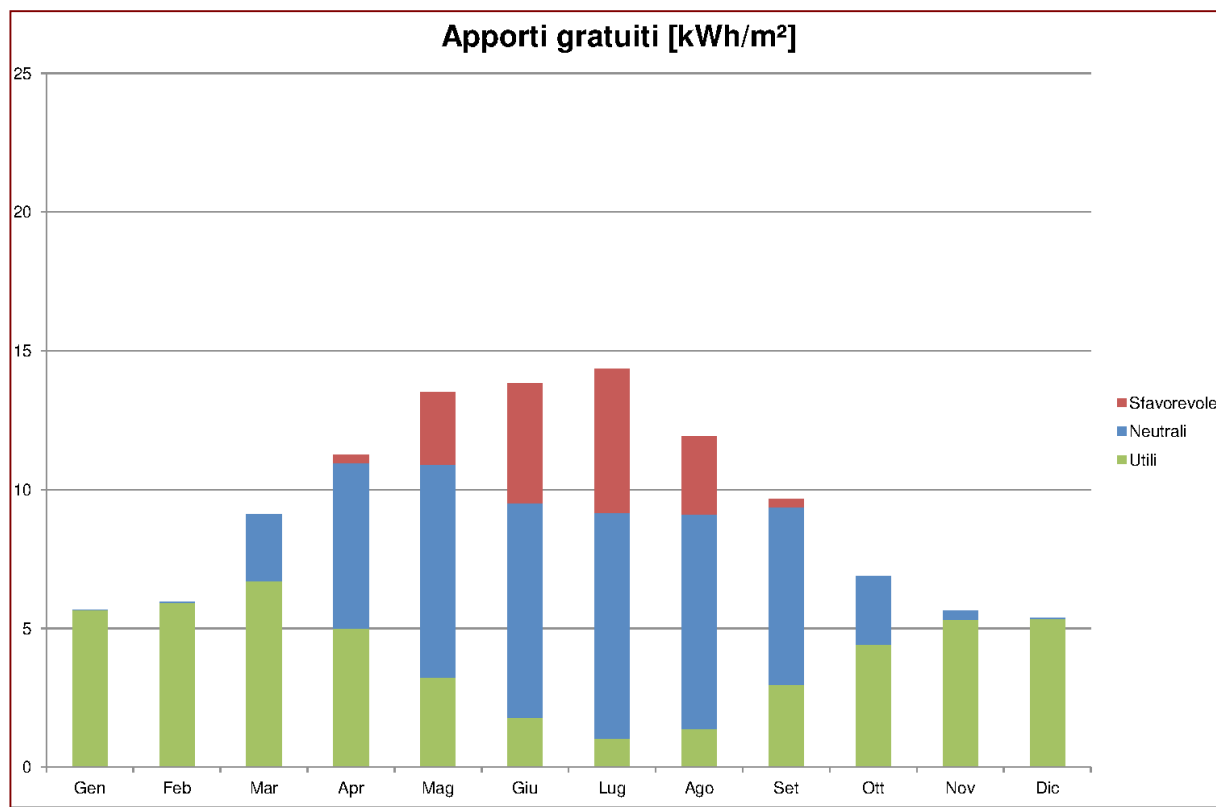


Figura 6.37 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 6.

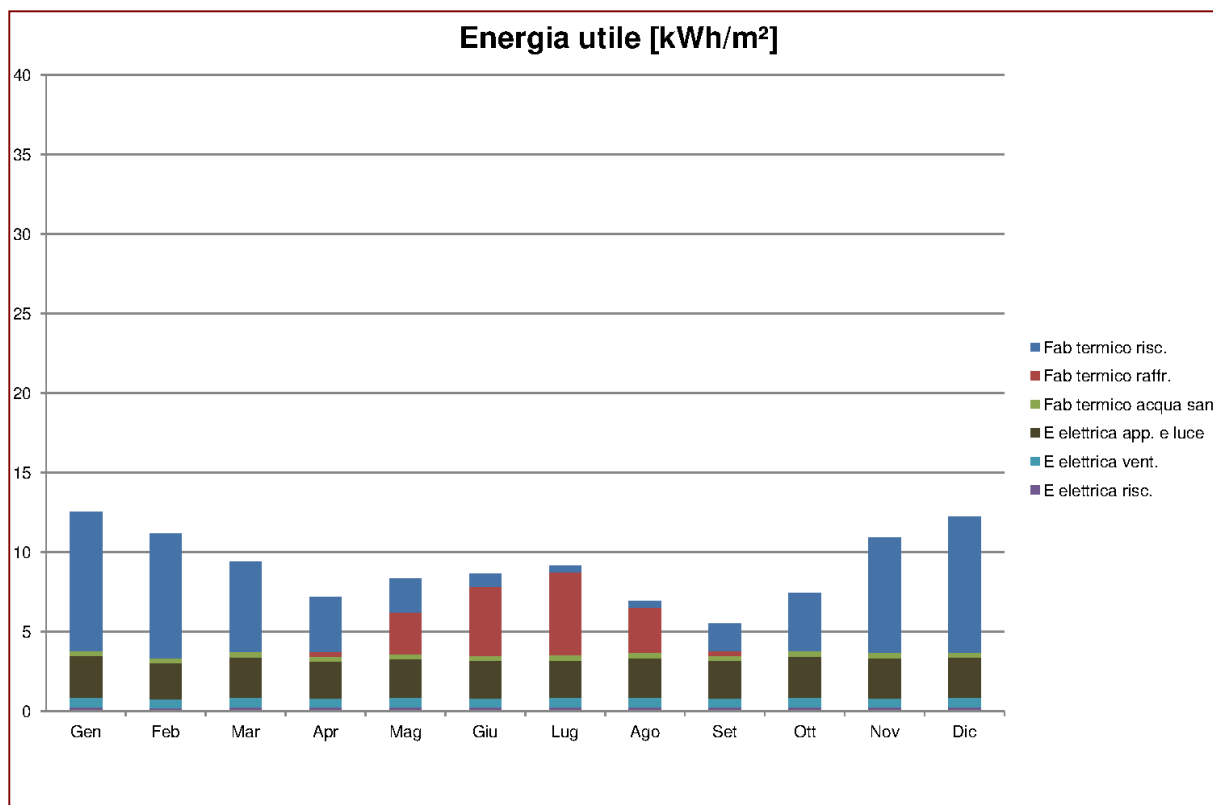


Figura 6.38 - Istogramma dell'energia utile nel caso 6.

	Perdite trasmissione	Perdite ventilazione	Energia latente	Apporti gratuiti		
				Totali	Utili	Sfavorevole
Totale [MWh]	588	1 069	1 041	1 880	1 047	178
Per metri quadri [kWh/m ²]	35.0	63.6	62.0	111.9	62.3	10.6
Per metri cubi [kWh/m ³]	8.3	15.2	14.8	26.7	14.8	2.5

Prospetto 6.21 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 6.

	Fabbisogno riscaldamento	Fabbisogno raffrescamento	Energia elettrica	Energia finale	Energia primaria
Totale [MWh]	852	262	658	2 085	1 801
Per metri quadri [kWh/m ²]	50.7	15.6	39.2	124.1	107.2
Per metri cubi [kWh/m ³]	12.1	3.7	9.3	29.6	25.5

Prospetto 6.22 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 6.

Il consumo di energia finale dell'edificio è di 107,2 kWh/(m².a). L'energia primaria per metri quadri è l'energia di riferimento della norma.

Di norma un edificio di categoria 4 (edificio ad uso commerciale) deve avere un consumo energetico inferiore a 240 kWh/(m².a). Secondo le classe energetiche in Finlandia 240 kWh/(m².a) corrisponde al limite per essere in classe C. Per raggiungere la classe B, il consumo energetico deve essere inferiore a 170 kWh/(m².a) e per la classe A, inferiore a 90 kWh/(m².a).

Il nostro edificio è quindi di classe B. Per indicazione il bando di concorso consiglia di avere un consumo di energia finale pari a 110 kWh/(m².a), valore vicino al consumo del nostro edificio.

Per raggiungere la classe A possiamo installare dei pannelli fotovoltaici sui tetti pieni, per ridurre il fabbisogno di energia elettrica. Con 800 m² di pannelli in silicio policristallino (efficienza del 16%) e un sistema per seguire il sole, la produzione di elettricità è di circa 180 MWh l'anno. Questo induce una riduzione di energia primaria di 18,2 kWh/(m².a) e permette di raggiungere la classe A.

I pannelli solari non furono scelti dall'inizio perché l'idea era di ridurre il fabbisogno di energia prima di usare fonti rinnovabili per compensare un consumo troppo elevato. Di più i pannelli solari non sembrano un'idea pertinente per questa latitudine, ma se il sole è basso, il cielo è generalmente chiaro. La produzione di elettricità è dunque pari a quella in città più a sud come in Lilla (50°N) per esempio.

PARTE 7 - ILLUMINOTECNICA

INDICE

INDICE.....	461
POSIZIONE DELL'EDIFICIO.....	462
PRINCIPIO DELLA LUCE.....	464
VALORI DI FLD E DI ILLUMINAZIONE.....	465
LA COLLEZIONE NORD.....	468
LE AULE DI LAVORO.....	471
L'AMMINISTRAZIONE.....	473

POSIZIONE DELL'EDIFICIO

Nella parte del contesto urbano abbiamo visto che a sud della nostra zona ci sono due edifici di grande altezza. Questi due edifici sono il Sanomatalo di circa 45m di altezza e l'edificio del Holiday Inn di circa 40m.

Per valutare l'influenza di questi edifici abbiamo calcolato la zona d'ombra degli edifici secondo il periodo dell'anno scelto (21 marzo, 21 giugno, 21 settembre, 21 dicembre) per tre ore diverse (8h, 12h, 16h).



Figura 7.1 - Zona d'influenza dell'ombra del contesto in marzo.

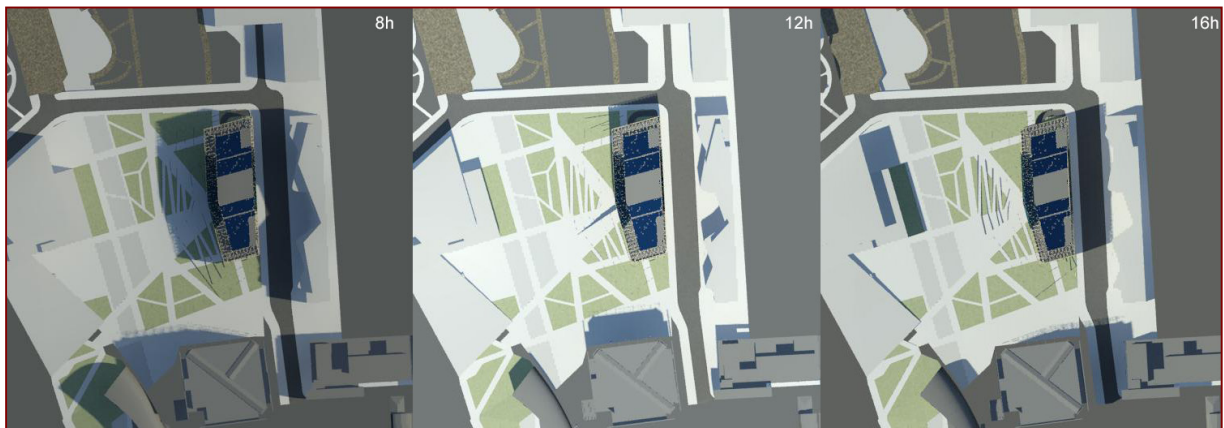


Figura 7.2 - Zona d'influenza dell'ombra del contesto in giugno.

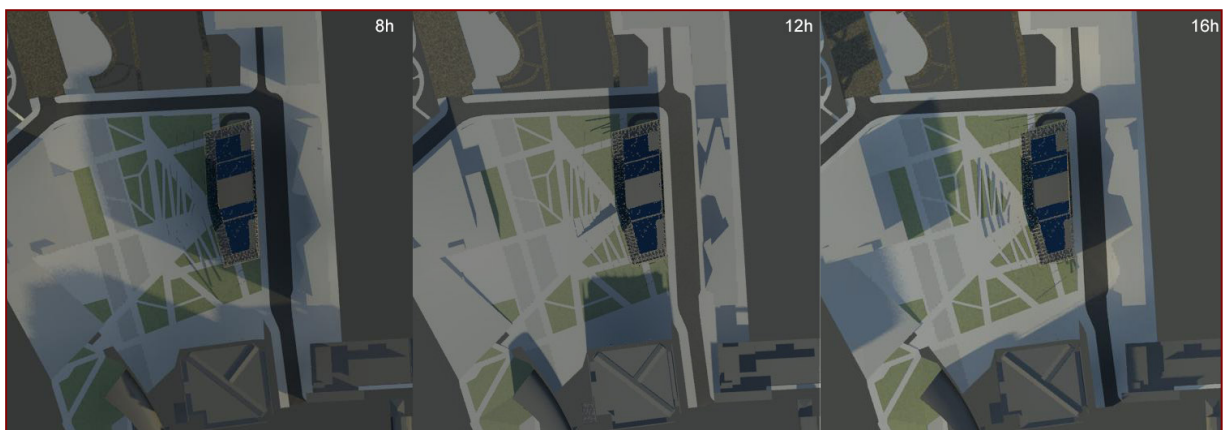


Figura 7.3- Zona d'influenza dell'ombra del contesto in settembre.

PRINCIPIO DELLA LUCE

Questi cambiamenti di forma hanno un effetto sulla larghezza dell'edificio. Infatti la larghezza prevista di 32m non è più sufficiente per accogliere tutte le funzioni con l'altezza prevista dal bando di concorso.

Secondo questo stesso bando di concorso possiamo creare degli spazi a sbalzo sulla parte ovest e nord del nostro edificio. In fine la larghezza dell'edificio è di 40m, una larghezza così grande da uno spazio interno totalmente buio. Dobbiamo quindi creare degli elementi per fare entrare la luce naturalmente nell'edificio.

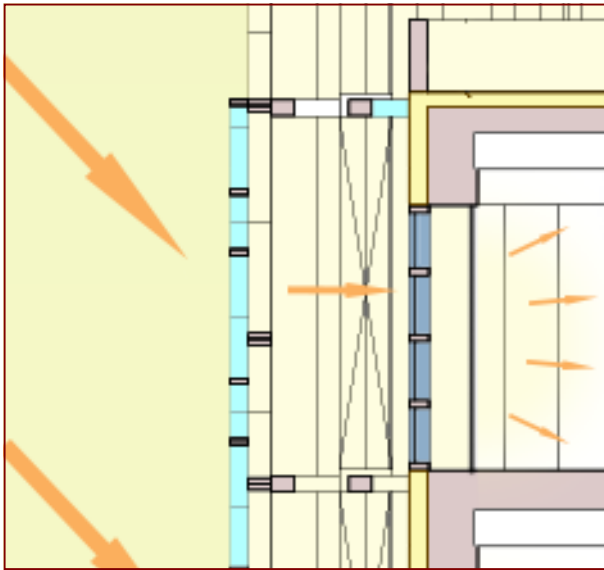


Figura 7.5 - Dettaglio dell'ingresso della luce.

Per questo abbiamo adottato due forme complementari la prima è quella degli atri creati come dei tagli su tutta altezza nell'edificio. In più a questi tagli abbiamo realizzati dei pozzi di luce nelle parti di collezione, per diminuire le parti senza luce naturale. In fine la larghezza massima di una parte di collezione è di 12m.

Per aumentare l'apporto solare, i pozzi di luce e gli atri sono creati leggermente aperti verso l'alto. Come possiamo vedere nella sezione seguente.

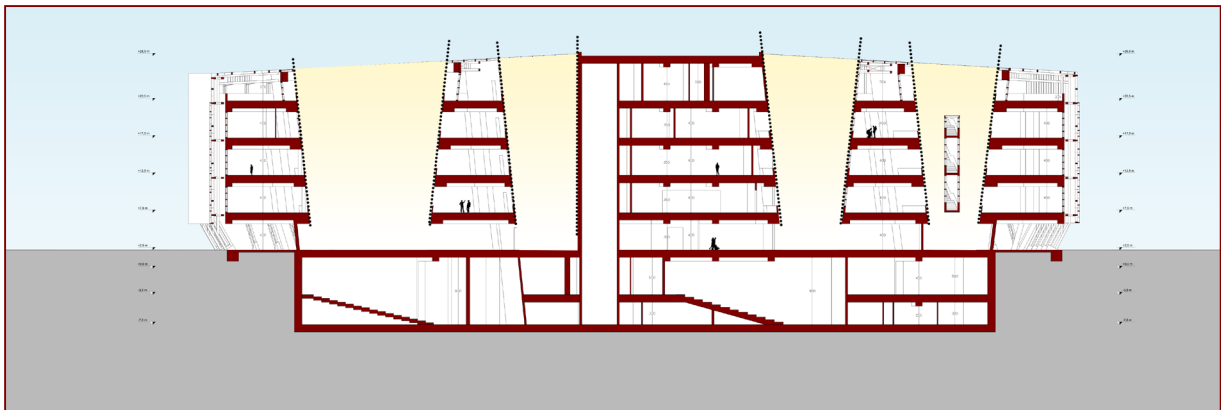


Figura 7.6 - Sezione longitudinale con gli atri e pozzi di luce.

VALORI DI FLD E DI ILLUMINAZIONE

Per la prima parte della progettazione complessa, il calcolo di FLD è un po' difficile da valutare. Abbiamo quindi scelto di usare degli elementi di predimensionamento più semplice come il rapporto di aero-illuminazione (o RAI, che non è un requisito normativo in Finlandia) prima di valutare il valore finale del FLD.

Piano	Numero	Spazio	Superficie pavimento	Superficie vetrata	RAI
Rialzato	0.1	Platea	1600,0	900,1	0,563
	0.2	Bagni nord	26,0	0,0	0,000
	0.3	Spogliatoi nord	24,6	0,0	0,000
	0.4	Deposito nord	16,1	0,0	0,000
	0.5	Ingresso caffetteria	8,3	28,8	3,470
	0.6	Vestibolo caffetteria	5,8	0,0	0,000
	0.7	Deposito caffetteria	11,3	0,0	0,000
	0.8	Bagno caffetteria	7,0	0,0	0,000
	0.9	Spogliatoi caffetteria	13,0	0,0	0,000
	0.10	Cucina caffetteria	14,8	0,0	0,000
	0.11	Ufficio bancone	21,6	5,4	0,249
	0.12	Copisteria	19,1	0,0	0,000
	0.13	Libreria	58,1	15,0	0,258
	0.14	Deposito libreria	17,1	0,0	0,000
	0.15	Ufficio libreria	13,0	0,0	0,000
	0.16	Bagni libreria	9,0	0,0	0,000
	0.17	Bagni sud	34,3	0,0	0,000
	0.18	Spogliatoi sud	30,3	0,0	0,000
	0.19	Deposito sud	17,5	0,0	0,000
Primo	1.1	Studio TV e radio	35,0	0,0	0,000
	1.2	Sala computer studio Tv e radio	15,2	0,0	0,000
	1.3	Deposito studio TV e radio	5,0	0,0	0,000
	1.4	Bagni nord	28,9	0,0	0,000
	1.5	Collezioni nord	655,0	194,0	0,296
	1.6	Sala registrazione studio musica	36,4	8,1	0,221
	1.7	Sala mix studio musica	20,0	0,0	0,000
	1.8	Deposito studio musica	18,3	0,0	0,000
	1.9	Attività	142,3	10,8	0,076
	1.10	Deposito attività	26,5	0,0	0,000
	1.11	Deposito fab lab	20,9	0,0	0,000
	1.12	Fab lab	70,9	8,8	0,124
	1.13	Spazio interrattivo	47,9	4,2	0,088
	1.14	Collezioni sud	750,0	189,5	0,253
	1.15	Aula insegnamento	59,9	8,1	0,134
	1.16	Bagni sud	38,8	0,0	0,000
	1.17	Sala studio sud 1	10,1	5,4	0,532
	1.18	Sala studio sud 2	14,8	8,1	0,544
	1.19	Sala studio sud 3	14,8	5,4	0,363
	1.20	Sala studio sud 4	10,1	0,0	0,000
Secondo	2.1	Collezioni nord	612,0	209,4	0,342
	2.2	Sala studio nord 1	13,6	5,4	0,395
	2.3	Sala studio nord 2	13,6	8,1	0,592
	2.4	Sala studio nord 3	9,5	4,0	0,424
	2.5	Sala studio nord 4	9,5	0,0	0,000
	2.6	Bagni nord	31,8	0,0	0,000
	2.7	Aula informatica	69,4	6,7	0,097
	2.8	Spazio mostra	136,2	10,2	0,075
	2.9	Deposito spazio mostra	26,5	0,0	0,000

Prospetto 7.1 - Calcolo del RAI -1.

Piano	Numero	Spazio	Superficie pavimento	Superficie vetrata	RAI
Secondo	2.10	Deposito spazi interrattivi	22,5	0,0	0,000
	2.11	Spazio interrattivo 1	50,1	18,2	0,363
	2.12	Spazio interrattivo 2	78,3	21,7	0,277
	2.13	Collezioni sud	720,0	204,9	0,285
	2.14	Aula insegnamento	52,5	6,7	0,128
	2.15	Bagni sud	38,9	0,0	0,000
	2.16	Sala studio sud 1	9,7	5,4	0,554
	2.17	Sala studio sud 2	13,7	8,1	0,588
	2.18	Sala studio sud 3	13,7	5,4	0,392
	2.19	Sala studio sud 4	9,7	0,0	0,000
Terzo	3.1	Collezioni nord	575,0	206,3	0,359
	3.2	Sala studio nord 1	12,5	5,4	0,430
	3.3	Sala studio nord 2	12,5	8,1	0,644
	3.4	Sala studio nord 3	8,8	4,0	0,457
	3.5	Sala studio nord 4	8,8	0,0	0,000
	3.6	Bagni nord	34,7	0,0	0,000
	3.7	Aula studio nord	58,3	5,4	0,092
	3.8	Living lab	102,1	9,5	0,093
	3.9	Deposito living lab	26,5	0,0	0,000
	3.10	Sala riunione living lab	23,8	0,0	0,000
	3.11	Deposito spazio mostra	24,0	0,0	0,000
	3.12	Spazio mostra	135,0	13,5	0,100
	3.13	Collezioni sud	330,0	61,6	0,187
	3.14	Aula studio sud	43,6	5,4	0,123
	3.15	Bagni sud	41,2	0,0	0,000
	3.16	Bagno amministrazione	13,2	0,0	0,000
	3.17	Spogliatoio donne amministrazione	13,3	0,0	0,000
	3.18	Spogliatoio uomini amministrazione	13,3	0,0	0,000
	3.19	Stoccaggio personale	19,4	13,3	0,685
3.20	Salotto	43,2	18,5	0,427	
3.21	Open space	132,0	82,0	0,621	
3.22	Ufficio 1	16,1	11,3	0,703	
3.23	Ufficio 2	10,3	3,8	0,371	
3.24	Ufficio 3	10,3	3,8	0,371	
3.25	Ufficio 4	10,3	3,8	0,371	
3.26	Sala riunione 1	26,4	7,0	0,265	
3.27	Sala riunione 2	26,4	21,0	0,795	
Quarto	4.1	Deposito	32,9	0,0	0,000
	4.2	Camera fredda	11,3	0,0	0,000
	4.3	Deposito rifiuti	12,3	0,0	0,000
	4.4	Deposito pulizia	7,6	0,0	0,000
	4.5	Cucina	57,4	0,0	0,000
	4.6	Bagni personale	7,9	0,0	0,000
	4.7	Spogliatoio donne	13,0	0,0	0,000
	4.8	Spogliatoio uomini	13,0	0,0	0,000
	4.9	Sala ristorante	151,8	35,4	0,233
	4.10	Guardaroba	15,8	0,0	0,000
	4.11	Bagni clienti	38,8	0,0	0,000

Prospetto 7.2 - Calcolo del RAI -2.

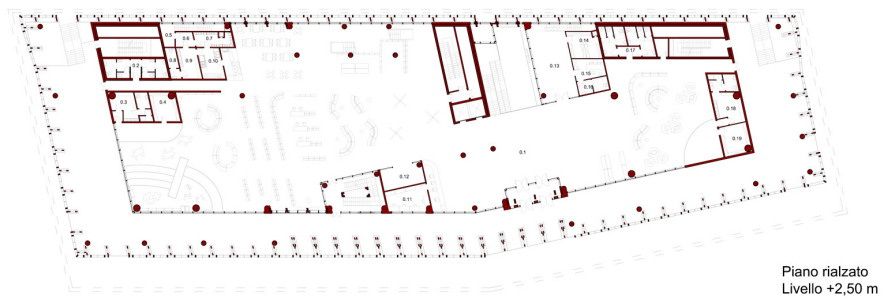
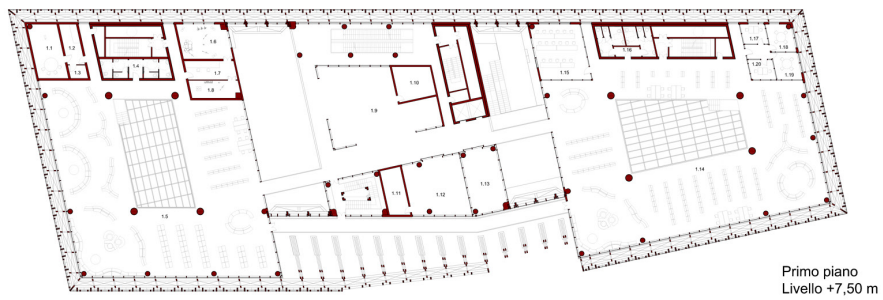
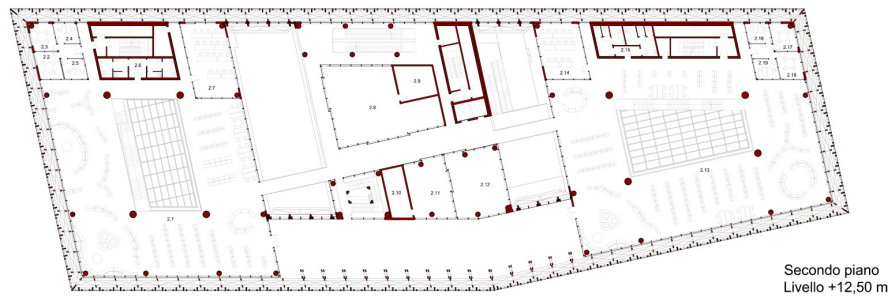
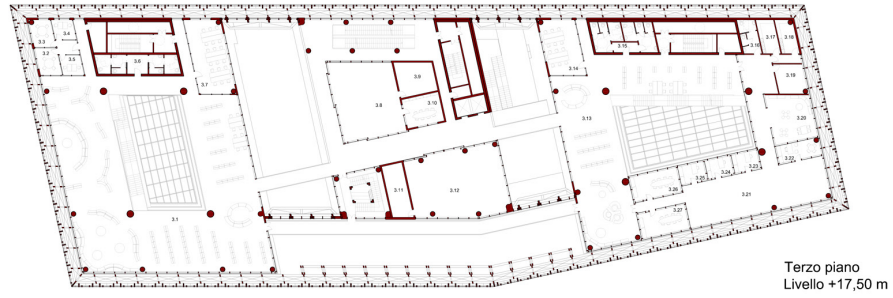
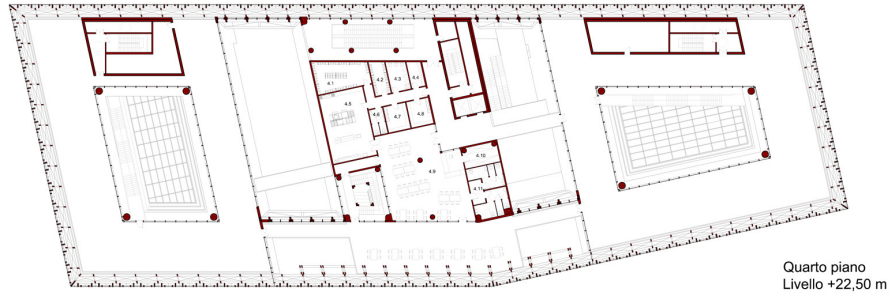


Figura 7.7 - Piante di riferimento delle stanze per il calcolo del RAI.

In fine il calcolo di RAI non prende bene in conto l'influenza dei pozzi di luce nel edificio. La valutazione ci permette di assicurarsi delle larghezza massime per le diverse alle di collezione intorno al pozzo di luce.

Visto la difficoltà a calcolare direttamente queste valore di FLD e di illuminazione in tutti punti dell'ambiente di calcolo, abbiamo deciso di fare tutti i calcoli con uno software (Velux Daylight Visualizer).

Le valore di riferimento per l'illuminazione delle diverse aree sono presi dalla norma UNI EN 12644-1

	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lux)	UGR_L
Circolazione			
	Zone di circolazione e corridoi	100	28
Uffici			
	Salle conferenze e reunioni	500	19
	Scrittura, dattilografia, letura elaborazione dati	500	19
Biblioteche			
	Scaffali	200	19
	Zona di lettura	500	19
	Posti di servizio al pubblico	500	19
Locali Scolastici			
	Aule Scolastiche	300	19
	Aule per corsi serali	500	19

Prospetto 7.3 - Valore di norma dell'illuminazione secondo l'attività interna dell'edificio.

Visto la complessità del modello 3D abbiamo separato l'edificio in zone diverse e abbiamo valutato l'illuminazione in alcune aree particolare:

- La collezione nord (il primo piano che è la parte di collezione più buia secondi il calcolo al RAI)

- Le aule di lavoro (nella parte nord al secondo piano)
- L'amministrazione della biblioteca.

I calcoli sono fatti in ogni mese per il valore media di illuminanza esterna calcolata a mezzogiorno.

LA COLLEZIONE NORD

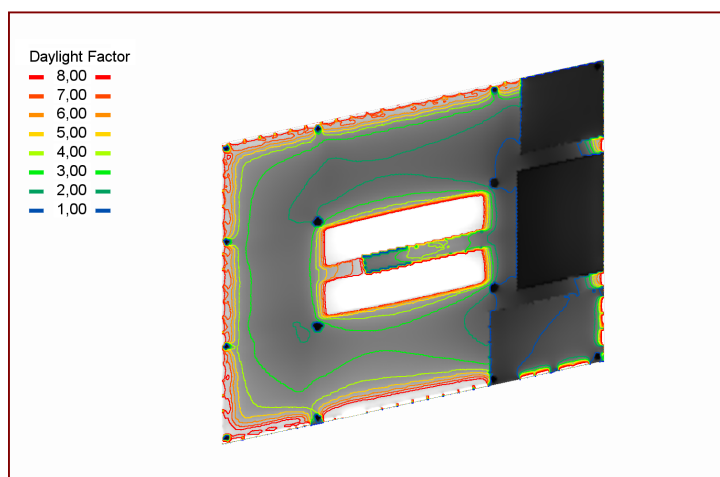


Figura 7.8 - Diagrammi del FLD nella collezione nord.

Per la collezione nord abbiamo valutato sia il calcolo di base senza schermature sia il calcolo con vele di diffusione per valutare la diminuzione dell'abbagliamento in estate. (fattore di ombra del 40% o del 70% per i due calcoli effettuati).

In più del valore di riferimento per l'illuminazione, il FLD dev'essere compreso tra il 2 e il 5% per essere ottimo nei scaffali ma può anche essere superiore al 5% negli spazi di lettura.

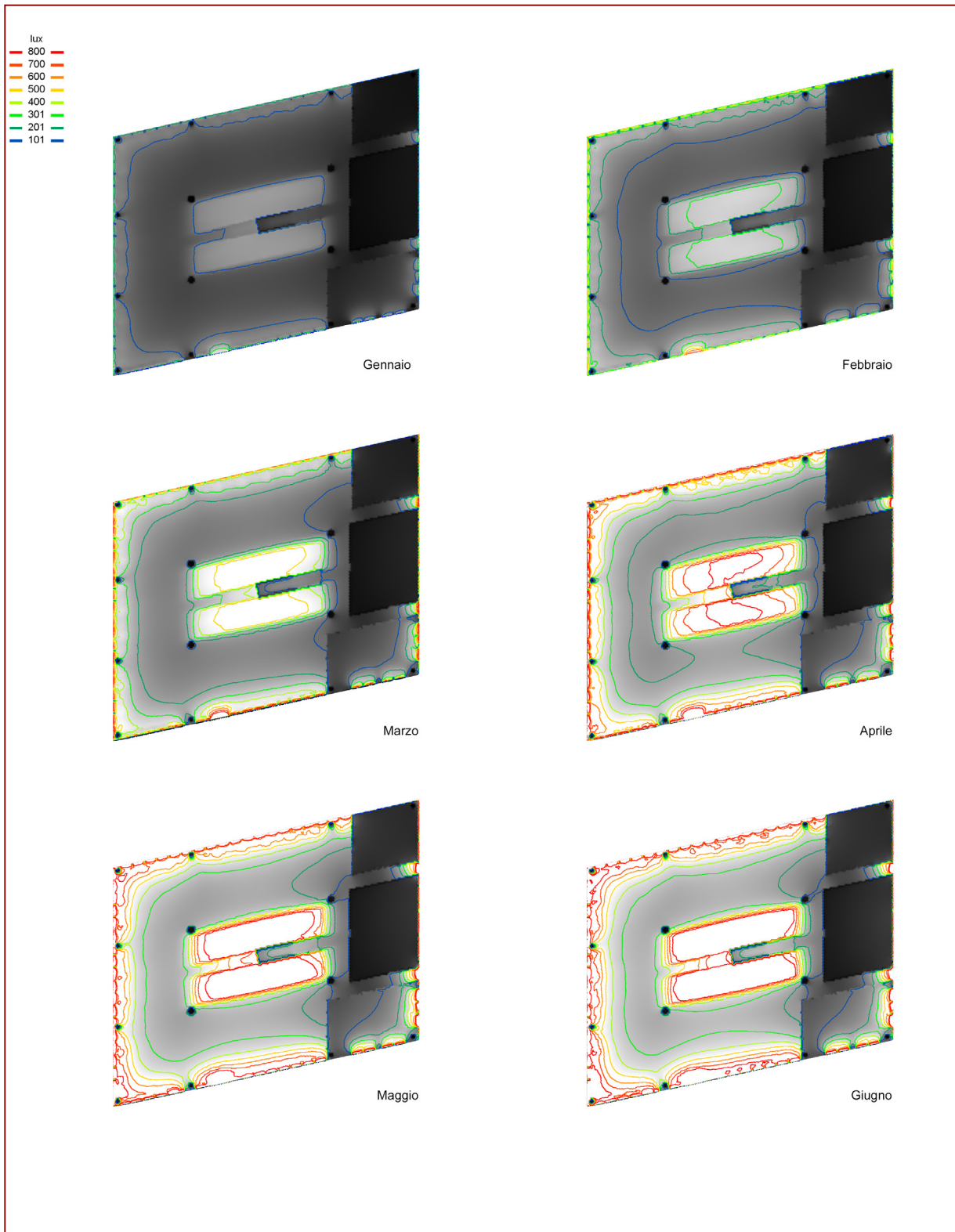


Figura 7.9 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord - 1.

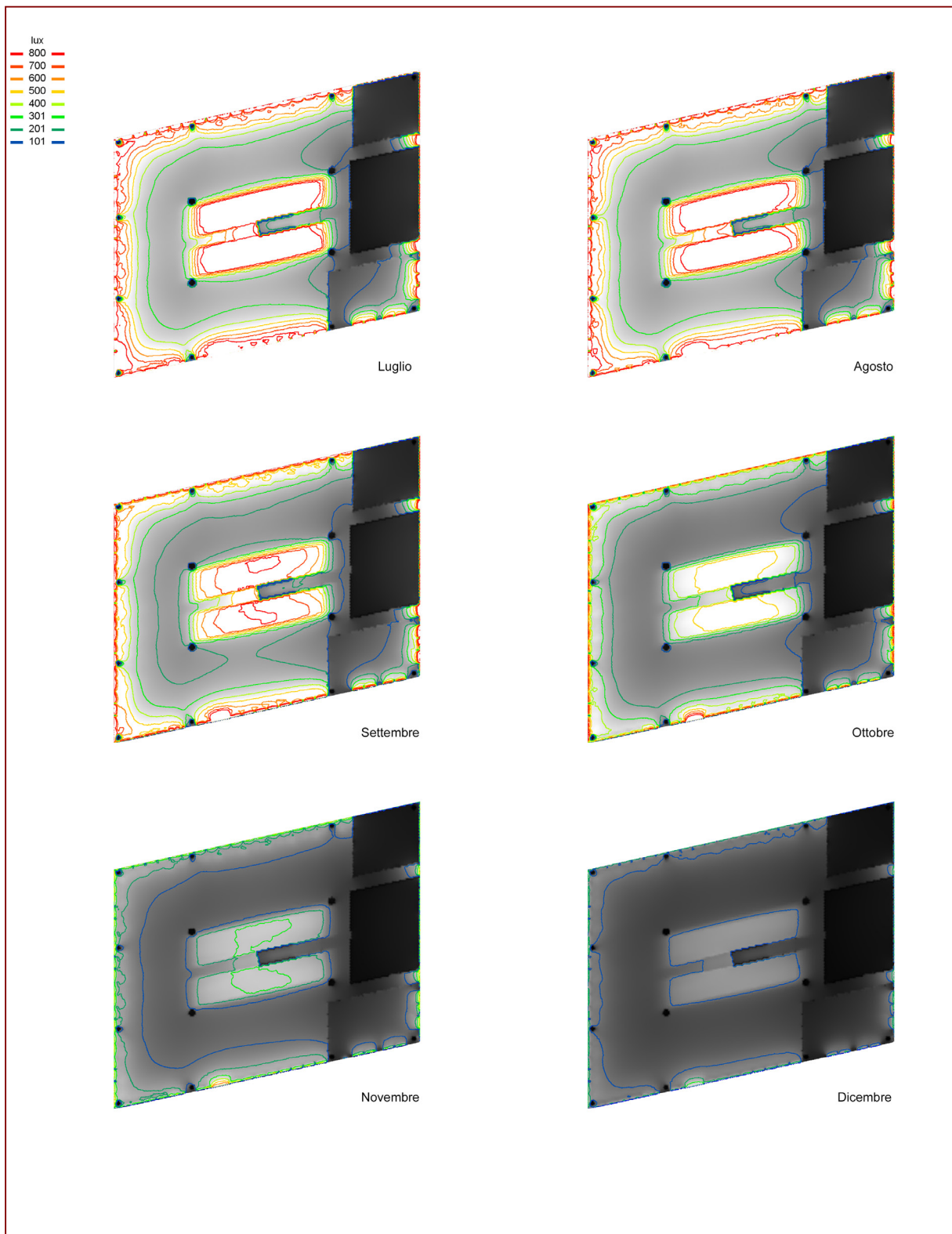


Figura 7.10 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord - 2.

Valutiamo le vele da aprile fino ad agosto, che sono i mesi con i valori di abbagliamento massimo.

In fine verificiamo che i valori sono ripartiti in modo omogeneo e che sono intorno al valore di norma. Per i salotti che si trovano negli angoli, il valore è di 500lux e per gli scaffali centrali il valore d'illuminazione è di 200lux.

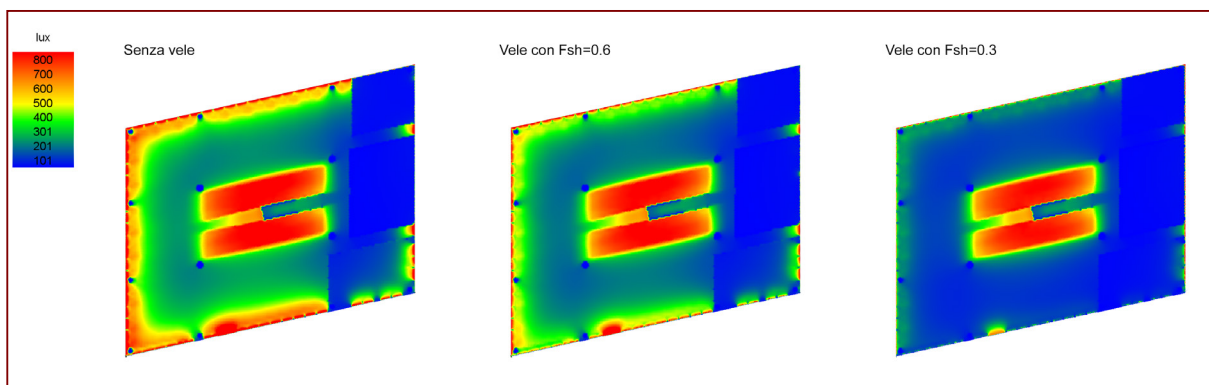


Figura 7.11 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).

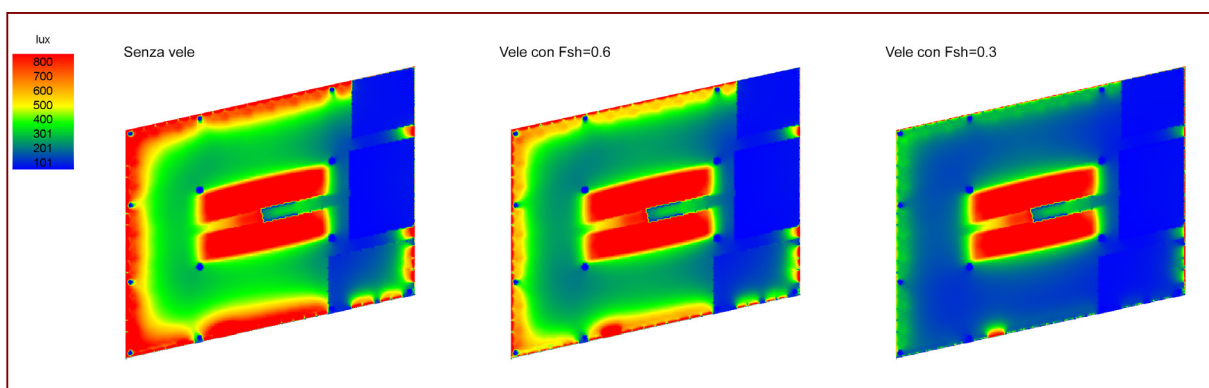


Figura 7.12 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).

LE AULE DI LAVORO

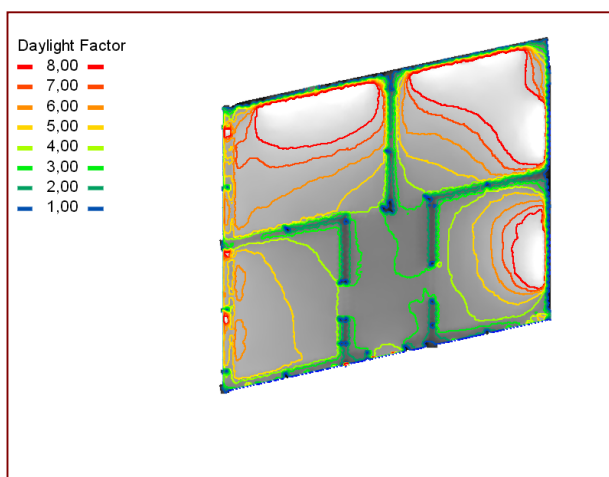


Figura 7.13 - Diagrammi del FLD nelle aule di lavoro.

Le aule di lavoro hanno una tipologia diversa dalla collezione, sono degli spazi chiusi con delle pareti leggere in vetro smerigliato. Queste pareti sono isolate acusticamente per non trasmettere il rumore da un'aula all'altra. Il vetro smerigliato ha la proprietà di diffondere la luce senza diminuire la visibilità interna, così aumenta l'effetto di separazione senza perdite di luce.

Questa tipologia di parete mobile permette anche di avere delle aule di lavoro senza neanche finestra verso l'esterno.

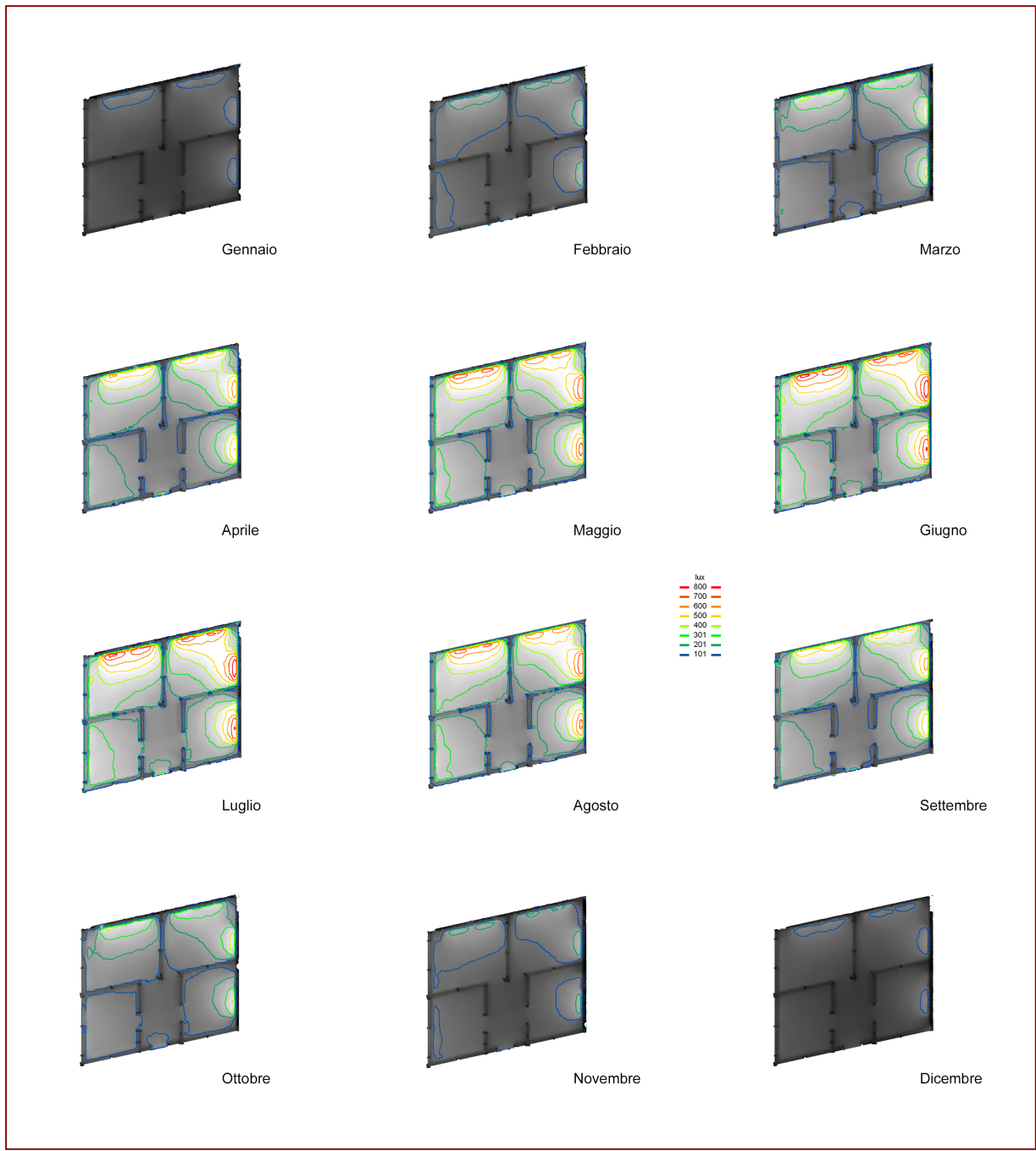


Figura 7.14 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord.

Valutiamo le vele da aprile fino ad agosto, che sono i mesi con i valori di abbagliamento massimo.

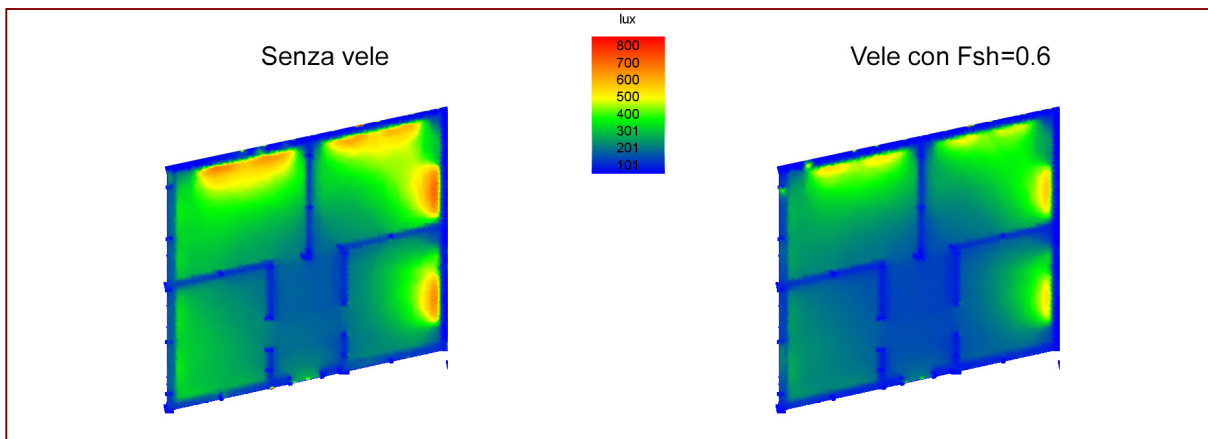


Figura 7.15 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).

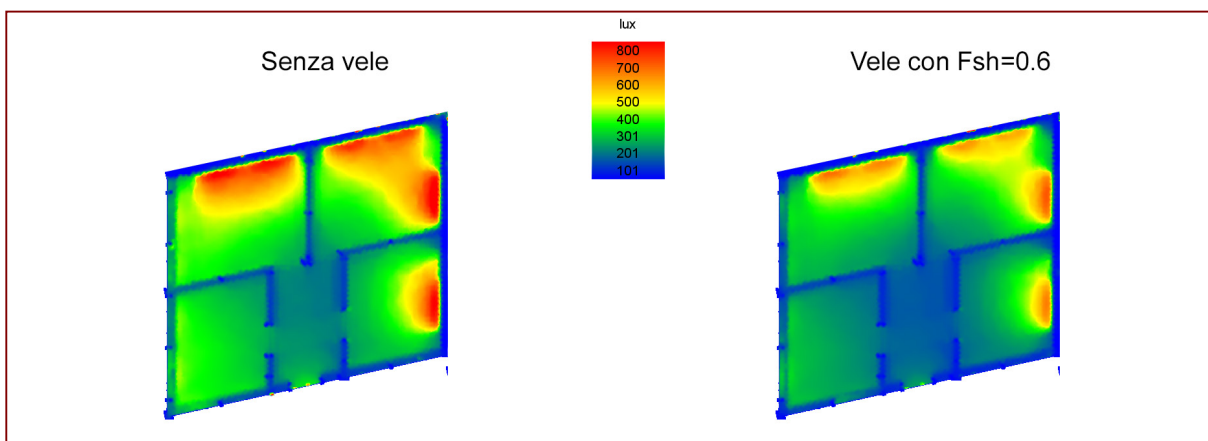


Figura 7.16 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).

L'AMMINISTRAZIONE

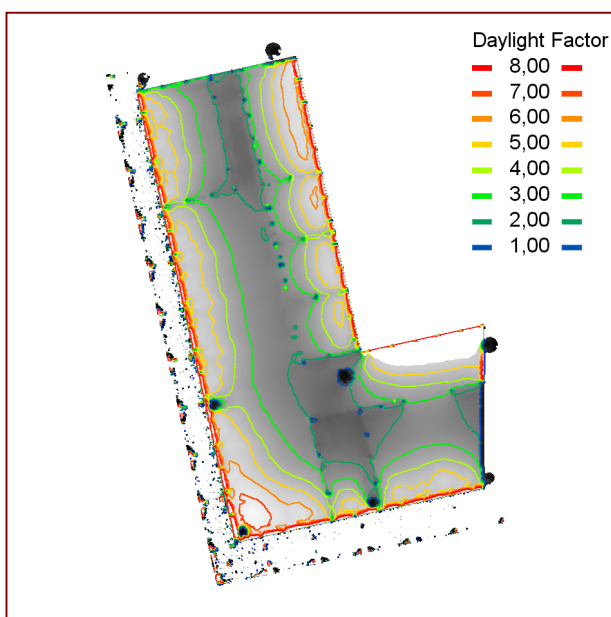


Figura 7.17 - Diagrammi del FLD nell'amministrazione.

La parte dell'amministrazione studiata è composta di quattro tipi di zone di studio:

- Gli uffici individuali
- Le sale di riunioni
- L'openspace
- Lo spazio relax di salotto

L'amministrazione ha una tipologia di stanze simile alle aule di lavoro della biblioteca. Ma a una scala maggiore. In fine la superficie complessa della biblioteca è della meta di un piano di collezione.

Per le pareti di separazione usiamo lo stesso modo che per le stanze di lavoro (vetro smerigliato) ma per le chiusure sul pozzo di luce lasciamo delle finestre di vetro normale per gli uffici.

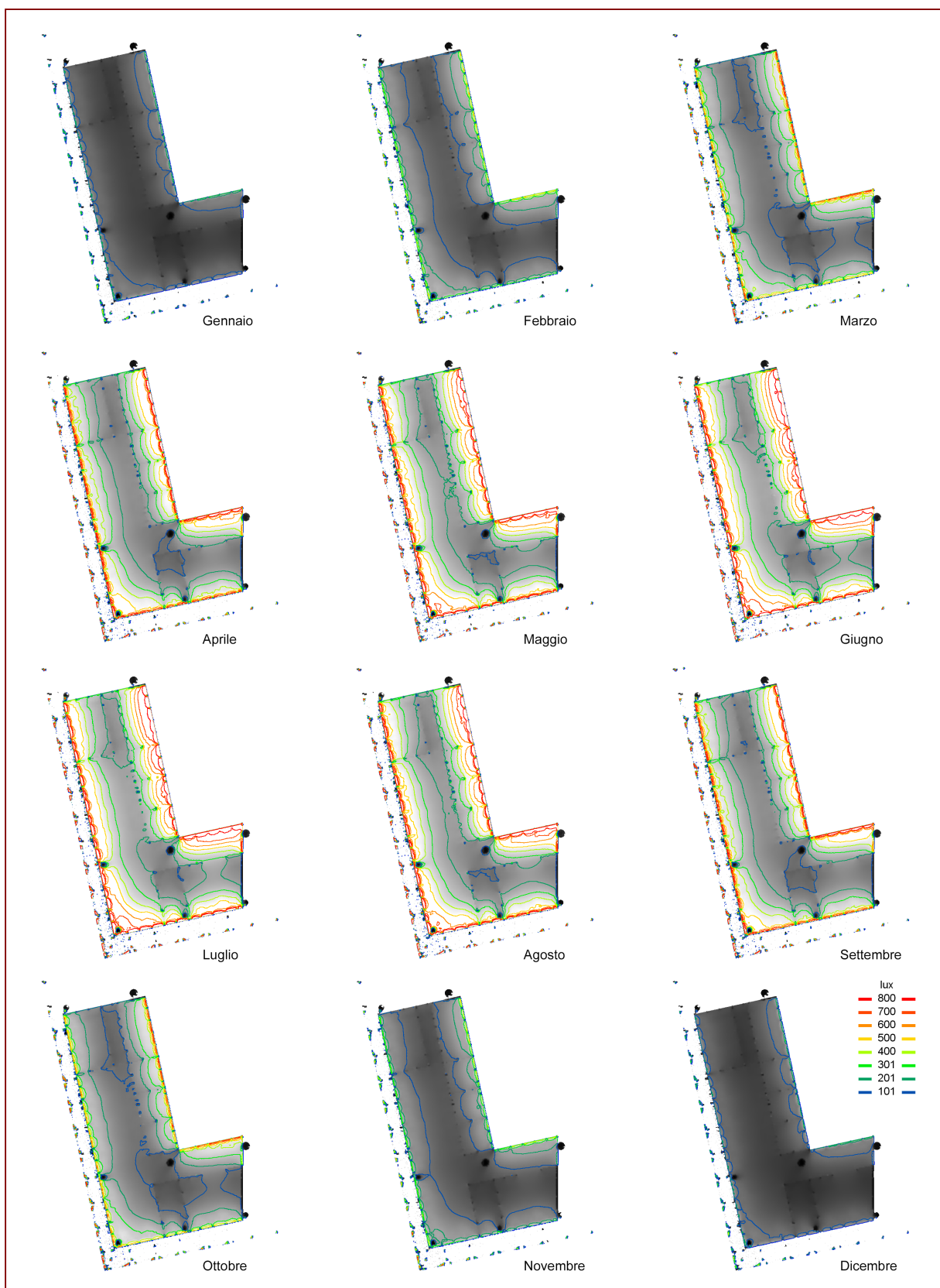


Figura 7.18 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione.

Valutiamo le vele da aprile fino ad agosto, che sono i mesi con i valori di abbagliamento massimo.

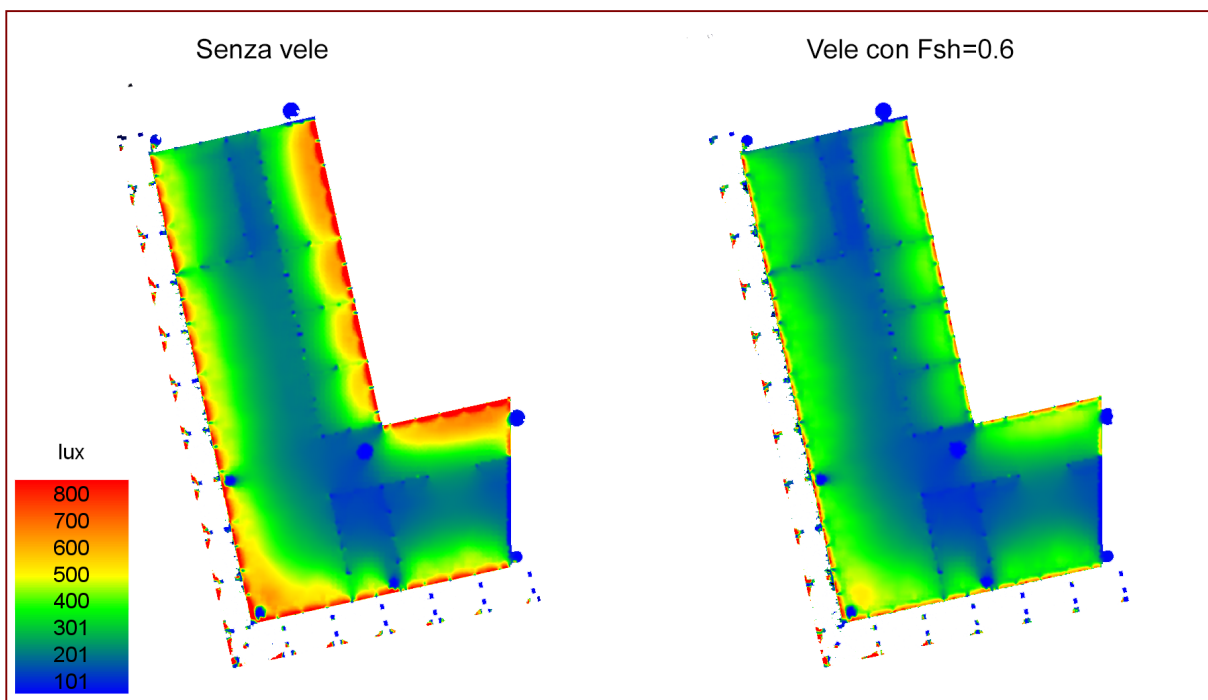


Figura 7.19 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).

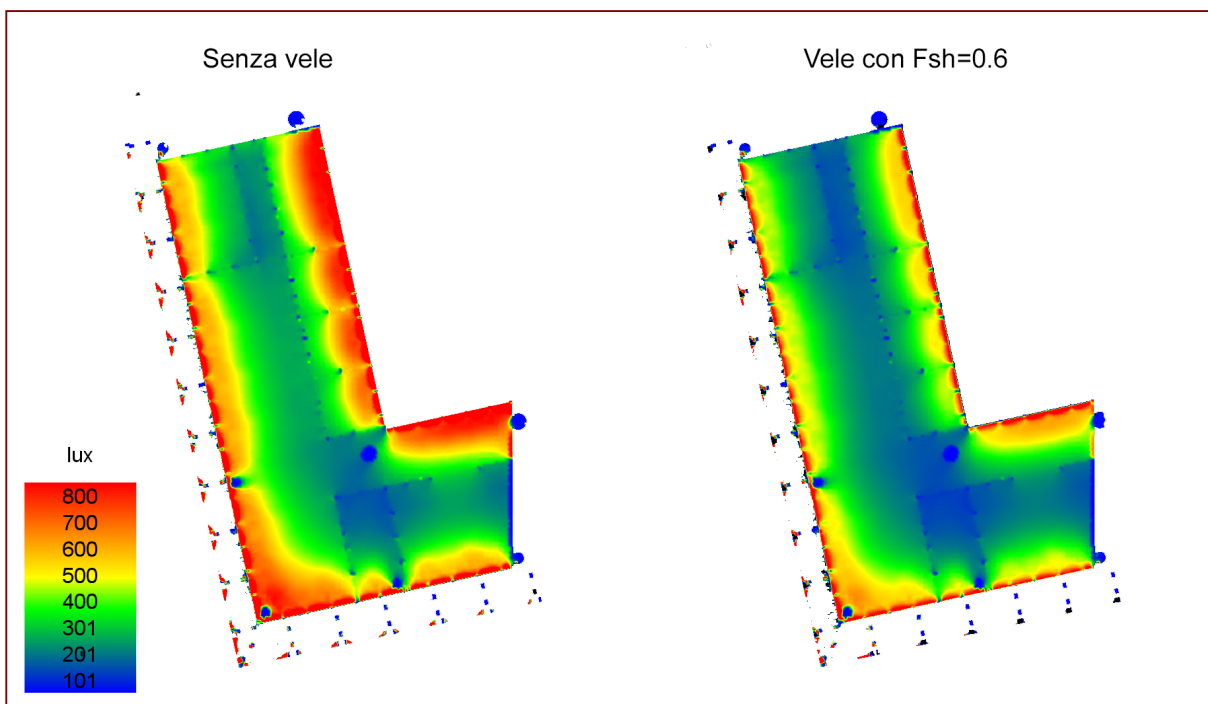


Figura 7.20 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).

APPENDICE

INDICE FIGURE

Figura 0.1 - Rappresentazione della biblioteca di Alessandria secondo le testimonianze archeologiche.....	12
Figura 0.2 - Esempio di pianta: la libreria di Pergamo (la seconda biblioteca più grande dell'Antichità, 200 000 papiri e pergamene).....	12
Figura 0.3 - Plastico della biblioteca del Foro Traiano, Roma, Italia, 112 d.C.....	13
Figura 0.4 - Ricostruzione di una biblioteca privata sulla base di quella di Villa Adriana di Tivoli.....	13
Figura 0.5 - Scriptorium - ritratto di Jean Miélot in Miracles de Notre-Dame.....	13
Figura 0.6 - Biblioteca del Merton College, William Humberville, Oxford, Inghilterra, 1373.....	14
Figura 0.7 - Biblioteca Malatestiana, Matteo Nutti da Fano, Cesena, Italia, 1452.....	14
Figura 0.8 - Biblioteca Ambrosiana, Lelio Buzzi e Francesco Maria Ricchino, Milano, Italia, 1609.....	14
Figura 0.9 - Pianta tipo di biblioteca, Leopoldo Della Santa, 1816.....	15
Figura 0.10 - Pianta del piano terra con ingresso centrale, magazzino a sinistra, uffici e sala libri rari a destra, Henri Labrouste, biblioteca Sainte-Geneviève, Parigi, 1851.....	15
Figura 0.11 - Pianta primo piano con sala lettura, Henri Labrouste, biblioteca Sainte-Geneviève, Parigi, 1851.....	16
Figura 0.12 - Biblioteca del British Museum, William Hosking, Londra, 1857.....	16
Figura 0.13 - Ex public library (oggi Museo degli Arti asiatici), George W. Kelham, San Francisco, Stati Uniti, 1879.....	17
Figura 0.14 - Sala lettura, Boston public library, George Ticknor, Boston, 1858, distrutta in 1899.....	17
Figura 0.15 - Biblioteca di Stoccolma, Erik Gunnar Asplund, Stoccolma, Svezia, 1927.....	17
Figura 0.16 - Pianta principale con la sala di lettura e il bancone di prestito, biblioteca di Viipuri, Alvar Aalto, Vyborg, Russia, 1935.....	18
Figura 0.17 - Pianta dell'anfiteatro, della sala lettura e della biblioteca per ragazzi, biblioteca di Viipuri, Alvar Aalto, Vyborg, Russia, 1935.....	18
Figura 0.18 - Scaffale CD-DVD, Mediateca della comunità francese di Belgio, Comines, Belgio.....	18
Figura 0.19 - Posti informatici, mediateca di Sendai, Toyo Ito, Sendai, Giappone.....	18
Figura 0.20 - Filanda, biblioteca 10, Helsinki, Finlandia.....	19
Figura 0.21 - Riunione del club informatica, biblioteca comunale di Helsinki, Pasila, Finlandia.....	19
Figura 0.22 - Concerto, biblioteca 10, Helsinki, Finlandia.....	19
Figura 0.23 - Spazio bambino, biblioteca di Hjørring, Hjørring, Danimarca.....	20
Figura 0.24 - Titolo del rapporto "The Heart of Metropolis - The Heart of Helsinki".....	22
Figura 0.25 - Diagramma FDOM della biblioteca centrale.....	23
Figura 0.26 - Evoluzione delle biblioteche nel tempo.....	25
Figura 0.27 - Sistema partecipativo usato nel processo dal municipio.....	26
Figura 0.28 - Spiegazioni degli spazi della biblioteca.....	27
Figura 0.29 - Opzioni per la posizione del edificio della biblioteca.....	27
Figura 0.30 - Piano interrato, progetto proposto dal municipio.....	30
Figura 0.31 - Piano terra, progetto proposto dal municipio.....	31
Figura 0.32 - Secondo piano, progetto proposto dal municipio.....	31
Figura 0.33 - Quarto piano, progetto proposto dal municipio.....	31
Figura 0.34 - Elenco funzionale, progetto proposto dal municipio.....	32
Figura 0.35 - Valutazione economica del progetto, progetto proposto dal municipio.....	33
Figura 0.36 - Planimetria della ristrutturazione dell'area della baia di Töölo.....	36
Figura 0.37 - Programma funzionale della biblioteca_1 - The Heart of Helsinki - competition program.....	39
Figura 0.38 - Programma funzionale della biblioteca_2 - The Heart of Helsinki - competition program.....	40
Figura 1.1 - Percentuale delle persone che hanno letto un libro negli ultimi 12 mesi.....	48
Figura 1.2 - Percentuale della popolazione secondo il numero di libri letti negli ultimi 6 mesi.....	48
Figura 1.3 - Percentuale della popolazione secondo la frequenza di lettura di un giornale.....	49
Figura 1.4 - Percentuale della popolazione secondo il numero di libri posseduti a casa.....	49
Figura 1.5 - Percentuale della popolazione secondo la partecipazione alle attività culturali come occupazione principale.....	49
Figura 1.6 - Percentuale della popolazione secondo la partecipazione alle attività culturali come occupazione secondaria.....	49
Figura 1.7 - Tempo dedicato ogni giorno alle attività culturali come occupazione principale, in ore.....	49
Figura 1.8 - Tempo dedicato ogni giorno alle attività culturali come occupazione secondaria, in ore.....	49
Figura 1.9 - Numero di biblioteche di Helsinki.....	51
Figura 1.10 - Numero di abitanti di Helsinki.....	51
Figura 1.11 - Spese annuali delle biblioteche di Helsinki, in milioni di euro.....	51
Figura 1.12 - Acquisizione dalle biblioteche di Helsinki, in migliaia per abitanti.....	51
Figura 1.13 - Collezione multimediale delle biblioteche di Helsinki.....	52
Figura 1.14 - Prestiti di articoli multimediali fatti nelle biblioteche di Helsinki.....	52
Figura 1.15 - Collezioni delle biblioteche di Helsinki, per categoria di libri.....	52
Figura 1.16 - Collezioni delle biblioteche di Helsinki, per fasce d'età.....	52
Figura 1.17 - Prestiti di articoli fatti nelle biblioteche di Helsinki per categoria di libri.....	52
Figura 1.18 - Prestiti di articoli fatti nelle biblioteche di Helsinki per fasce d'età.....	52
Figura 1.19 - Prenditori per abitanti a Helsinki.....	53
Figura 1.20 - Prestiti per abitanti a Helsinki.....	53
Figura 1.21 - Visite di biblioteca per abitanti a Helsinki.....	53
Figura 1.22 - Prestiti fra le biblioteche di Helsinki, in migliaia per abitanti.....	53
Figura 1.23 - Carta di Vironniemi, Helsinki, 1645.....	64
Figura 1.24 - Carta di Helsinki, 1645.....	64
Figura 1.25 - Carta di Helsinki, Johan Albrecht Ehrenstöm, 1815.....	65
Figura 1.26 - Carta di Helsinki, Claes Wilhelm Gylden, 1837.....	65
Figura 1.27 - Carta del littorale di Helsinki, 1850.....	66
Figura 1.28 - Carta topografica di Helsinki, 1871.....	66
Figura 1.29 - Carta di Helsinki, 1900.....	66
Figura 1.30 - Carta economica di Helsinki, 1919.....	66
Figura 1.31 - Carta economica di Helsinki, 1936.....	67
Figura 1.32 - Carta topografica di Helsinki, 1944.....	67
Figura 1.33 - Carta di Helsinki, 1980.....	67
Figura 1.34 - Carta catastale di Helsinki, 2000.....	67
Figura 1.35 - Sintesi delle carte storiche, 1840.....	68

Figura 1.36 - Sintesi delle carte storiche, 1900.....	68
Figura 1.37 - Sintesi delle carte storiche, 1960.....	68
Figura 1.38 - Sintesi delle carte storiche, 2000.....	68
Figura 1.39 - Sintesi delle carte storiche al livello regionale.....	68
Figura 1.40 - I diversi progetti di Helsinki, 2013.....	69
Figura 1.41 - Planimetria del progetto di Kalasatama.....	70
Figura 1.42 - Vista aerea del progetto di Kalasatama.....	70
Figura 1.43 - Progetto di Harris & Kjisik architects and planners.....	70
Figura 1.44 - Vista del futuro parco Havainnekuva.....	70
Figura 1.45 - Länsisatama prima dell'intervento.....	71
Figura 1.46 - Progetto proposto per l'intervento a Länsisatama.....	71
Figura 1.47 - Progetto di alloggi, Jatkasaarihietakuja di Sarlin+Sopanen.....	71
Figura 1.48 - Progetto della via pedonale Baana.....	71
Figura 1.49 - Vista aerea del progetto di Pasila, Cino Zucchi.....	72
Figura 1.50 - Render del progetto di uffici, Cino Zucchi.....	72
Figura 1.51 - Digital media center, Pasila.....	72
Figura 1.52 - Punti di interessi intorno a Töölönlahti.....	89
Figura 1.53 - Teatro Comunale di Helsinki, Timo Penttillä, 1967.....	89
Figura 1.54 - Finnish National Opera, Eero Hyvämäki - Jukka Karhunen - Risto Parkkinen, 1993.....	90
Figura 1.55 - Finlandia Hall, Alvar Aalto, 1975.....	90
Figura 1.56 - Museo Nazionale di Finlandia, Herman Geselius - Armas Lindgren - Eliel Saarinen, 1910.....	90
Figura 1.57 - Palazzo della musica, Marko Kivistö - Ola Laiho - Mikko Pulkkinen, 2011.....	91
Figura 1.58 - Palazzo del Parlamento, Johan Sigfrid Sirén, 1931.....	91
Figura 1.59 - Piccolo palazzo del Parlamento, Pekka Helin, 2004.....	91
Figura 1.60 - Kiasma Museum, Steven Holl, 1998.....	92
Figura 1.61 - Sanomatalo, Jan Söderlund - Antti-Matti Siikala, 1999.....	92
Figura 1.62 - Uffici generali della Posta di Helsinki, Kaarlo Borg - Jorma Järvi - Erik Lindroos, 1938.....	92
Figura 1.63 - Stazione centrale di Helsinki, Eliel Saarinen, 1918.....	93
Figura 1.64 - Teatro nazionale finlandese, Onni Tarjanne, 1902.....	93
Figura 1.65 - Cattedrale luterana di Helsinki, Carl Ludvig Engel - Ernst Lohrmann, 1852.....	93
Figura 1.66 - Piazza del Senato, Carl Ludvig Engel, '800.....	94
Figura 2.1 - Analisi FDOM dell'area di progetto - Forze.....	106
Figura 2.2 - Analisi FDOM dell'area di progetto - Debolezze.....	107
Figura 2.3 - Analisi FDOM dell'area di progetto - Opportunità.....	108
Figura 2.4 - Analisi FDOM dell'area di progetto - Minacce.....	109
Figura 2.5 - Planimetria della ristrutturazione dell'area della Baia di Töölö.....	110
Figura 2.6 - Concetto di dislivello per l'edificio.....	111
Figura 2.7 - Concetto di riconnessione con l'acqua tra la baia e il centro di Helsinki.....	111
Figura 2.8 - Concetto di riconnessione col verde fra il parco e il centro di Helsinki.....	111
Figura 2.9 - Punti di vista principali esistenti sull'area di progetto.....	111
Figura 2.10 - Sintesi dei concetti per l'area di progetto.....	112
Figura 2.11 - Linee direttrici dell'area di progetto.....	112
Figura 2.12 - Mont Pélerin, Vevey, Svizzera.....	114
Figura 2.13 - Piazza Stanislas, Nancy, Francia.....	114
Figura 2.14 - Piazza del mercato, Tampere, Finlandia.....	114
Figura 2.15 - Piazzale François Mitterrand, Lilla, Francia.....	114
Figura 2.16 - Champs de Mars, Annecy, Francia.....	115
Figura 2.17 - Musiikkitalo, Helsinki, Finlandia.....	115
Figura 2.18 - Parco Sempione, Milano, Italia.....	115
Figura 2.19 - Parc de Seaux, Seaux, Francia.....	115
Figura 2.20 - Hyde Park, Sydney, Australia.....	116
Figura 2.21 - Parc de Seaux, Seaux, Francia.....	116
Figura 2.22 - Parco del Mont-Royal, Montréal, Canada.....	116
Figura 2.23 - Jardins du Château de Versailles, Versailles, Francia.....	116
Figura 2.24 - Alternativa 1.1 per il progetto.....	117
Figura 2.25 - Alternativa 1.2 per il progetto.....	117
Figura 2.26 - Alternativa 2.1 per il progetto.....	118
Figura 2.27 - Alternativa 2.2 per il progetto.....	118
Figura 2.28 - Alternativa 3 per il progetto.....	119
Figura 2.29 - Passo 1: misure del lotto 2014.....	120
Figura 2.30 - Passo 2: estrusione del volume.....	120
Figura 2.31 - Passo 3: deformazione del volume di base.....	121
Figura 2.32 - Passo 4: distacco dal terreno.....	121
Figura 2.33 - Passo 5: ricollegamento con il contesto urbano.....	122
Figura 2.34 - Passo 6: modifiche di forma verso l'alto e il suolo.....	122
Figura 2.35 - Passo 7: doppia pelle e ricollegamento del suolo con l'edificio.....	123
Figura 3.1 - Render esterno della Seattle central library, OMA, Seattle, Stati Uniti, 2004.....	137
Figura 3.2 - Vista esterna della Seattle central library, OMA, Seattle, Stati Uniti, 2004.....	138
Figura 3.3 - Vista interna della Seattle central library, OMA, Seattle, Stati Uniti, 2004.....	138
Figura 3.4 - Concetto funzionale della biblioteca di Seattle.....	138
Figura 3.5 - Render esterno del mediaspace di Aarhus, SHL, Aarhus, Danimarca.....	138
Figura 3.6 - Plastico del mediaspace di Aarhus con spiegazione delle funzione interne, SHL, Aarhus, Danimarca.....	139
Figura 3.7 - Vista aerea del mediaspace di Aarhus, SHL, Aarhus, Danimarca.....	139
Figura 3.8 - Render esterno dal porto di Aarhus, SHL, Aarhus, Danimarca.....	139
Figura 3.9 - Render di notte del progetto urbano di Aarhus, SHL, Aarhus, Danimarca.....	139
Figura 3.10 - Vista dell'atrio del Vancouver library Square, Moshe Safdie, Vancouver, Canada, 1995.....	140
Figura 3.11 - Vista dell'atrio della Salt Lake City public library, Moshe Safdie, Salt Lake City, Stati Uniti, 2003.....	140
Figura 3.12 - Vista esterna della biblioteca universitaria di Utrecht, Wiels Arets, Utrecht, Paesi Bassi, 2004.....	141

Figura 3.13 - Vista interna della biblioteca universitaria di Utrecht - Passerelle, Wiels Arets, Utrecht, Paesi Bassi, 2004.	141
Figura 3.14 - Vista interna della biblioteca universitaria di Utrecht - Atrio, Wiels Arets, Utrecht, Paesi Bassi, 2004.	142
Figura 3.15 - Vista interna della biblioteca universitaria di Utrecht - Pozzo di luce, Wiels Arets, Utrecht, Paesi Bassi, 2004.	142
Figura 3.16 - Render 3D esterno della mediateca di Sendai, Toyo Ito, Sendai, Giappone, 2000.	142
Figura 3.17 - Plastico della struttura della mediateca di Sendai, Toyo Ito, Sendai, Giappone, 2000.	143
Figura 3.18 - Pozzo di luce nella mediateca di Sendai, Toyo Ito, Sendai, Giappone, 2000.	143
Figura 3.19 - Sezioni funzionali del complesso.	144
Figura 3.20 - Principio di divisione degli spazi nei piani superiori.	144
Figura 3.21 - Organigramma delle funzioni nel complesso.	145
Figura 3.22 - Organigramma delle funzioni del settore d'ingresso.	146
Figura 3.23 - Settore d'ingresso della mediateca di Sendai, Giappone.	146
Figura 3.24 - Render dell'ingresso della mediateca di Saint-Malo, Francia.	146
Figura 3.25 - Organigramma delle funzioni della caffetteria.	147
Figura 3.26 - Caffetteria dell'università di Caen, Francia.	147
Figura 3.27 - Organigramma delle funzioni di attività commerciali.	147
Figura 3.28 - Organigramma delle funzioni dello spazio bambini e ragazzi.	148
Figura 3.29 - Spazio bambino della Downtown library, Palo Alto, Stati Uniti.	148
Figura 3.30 - Sala lettura dello spazio bambino Ramsey county Roseville library, Roseville Rotary, Stati Uniti.	148
Figura 3.31 - Lettura fatta ai bambini nella biblioteca di Utrecht, Paesi Bassi.	148
Figura 3.32 - Organigramma delle funzioni del cinema.	149
Figura 3.33 - Sezione funzionale del cinema.	149
Figura 3.34 - Organigramma delle funzioni della hall multiuso.	149
Figura 3.35 - Configurazioni della hall multiuso.	150
Figura 3.36 - Grande salle nel complesso di Scène de musiques actuelles, Saint-Étienne, Francia.	150
Figura 3.37 - Dettagli tecnologici della tribuna del centro culturale Avel Vor, Plougastel, Francia.	150
Figura 3.38 - Le studio del Centro Pompidou di Metz, Francia.	150
Figura 3.39 - Organigramma delle funzioni dell'area di servizio.	151
Figura 3.40 - Organigramma delle funzioni dei settori di collezioni.	151
Figura 3.41 - Browsing area della biblioteca di Pasila, Finlandia.	151
Figura 3.42 - Posti di lavoro nella mediateca di Sendai, Giappone.	152
Figura 3.43 - Zona di silenzio nell'università di Montréal, Canada.	152
Figura 3.44 - Area di lavoro nelle scaffale della biblioteca di Utrecht, Paesi Bassi.	152
Figura 3.45 - Area di salotto della mediateca di Sendai, Giappone.	152
Figura 3.46 - Organigramma delle funzioni degli studi.	153
Figura 3.47 - DJ nella libreria 10 di Helsinki, Finlandia.	153
Figura 3.48 - Organigramma delle funzioni dell'amministrazione.	153
Figura 3.49 - Organigramma delle funzioni del settore attività.	154
Figura 3.50 - Organigramma delle funzioni del fab lab.	154
Figura 3.51 - Fab lab nello spazio di The Waag society, Amsterdam, Paesi Bassi.	154
Figura 3.52 - Pittura nella biblioteca di Entresse a Espoo, Finlandia.	155
Figura 3.53 - Spazio di prova Kinect.	155
Figura 3.54 - Spazi di prova di giochi video.	155
Figura 3.55 - Showroom del CEA di Grenoble, Francia.	155
Figura 3.56 - Organigramma delle funzioni del living lab.	156
Figura 3.57 - Living lab a Bilbao - la Isla, Spagna.	156
Figura 3.58 - Organigramma delle funzioni del ristorante.	156
Figura 3.59 - Assemblaggio multi ruolo per il sistema di compartimentazioni.	158
Figura 3.60 - Esempio di uso per le velette a fumo.	159
Figura 3.61 - Dettaglio del lesto della veletta.	159
Figura 3.62 - Piani di posizione delle uscite di sicurezza.	161
Figura 3.63 - Estintore a polvere omologato dal Ministero dell'Interno italiano.	161
Figura 3.64 - Idrante a naspo.	162
Figura 3.64 - Pianta tipo di un bagno accessibile.	163
Figura 3.65 - Erogatore sprinkler con elemento termosensibile a bulbo di vetro.	162
Figura 4.1 - Fabbricazione del Kerto.	244
Figura 4.2 - Presentazione dei differenti tipi di Kerto.	245
Figura 4.3 - Dettaglio della scala di una scuola in Svizzera.	245
Figura 4.4 - Esempio di costruzione in Kerto.	245
Figura 4.5 - Assonometria di un solaio Kerto.	245
Figura 4.6 - Solaio di Kerto Ripa con degli impianti.	246
Figura 4.7 - St Mary Magdalene Academy, Londra, Inghilterra.	247
Figura 4.8 - Dettaglio del tetto della Herbert Gallery Coventry, Inghilterra.	247
Figura 4.9 - Componenti del sistema Kerto Concept.	247
Figura 4.10 - Uffici della Unilever, Amburgo, Germania.	248
Figura 4.11 - Elm Park - vista esterna, Dublino, Irlanda.	248
Figura 4.12 - Health department of Bilbao - vista interna, Bilbao, Spagna.	248
Figura 4.13 - Capella funerale, Gräfelfing, Germania.	248
Figura 4.14 - Principio di realizzazione dei diaframmi.	249
Figura 4.15 - Isolamento dei diaframmi di un ospedale, Ginevra, Svizzera.	249
Figura 4.16 - Primo dettaglio 3D.	250
Figura 4.17 - Secondo dettaglio 3D.	250
Figura 5.1 - 3D strutturale - Fondazioni.	304
Figura 5.2 - 3D strutturale - Piano interrato.	305
Figura 5.3 - 3D strutturale - Piano seminterrato.	305
Figura 5.4 - 3D strutturale - Piano terra.	305
Figura 5.5 - 3D strutturale - Primo piano.	306
Figura 5.6 - 3D strutturale - Secondo piano.	306
Figura 5.7 - 3D strutturale - Terzo piano.	306

Figura 5.8 - 3D strutturale - Quarto piano.....	307
Figura 5.9 - Sezione longitudinale secondo l'asse strutturale C.....	307
Figura 5.10 - 3D strutturale - Ricollegamento con struttura in legno.....	307
Figura 5.11 - 3D strutturale - Pilastrini in legno per le terrazze.....	308
Figura 5.12 - 3D strutturale - Sotto struttura reticolare in legno.....	308
Figura 5.13 - 3D strutturale - Struttura in losanghe della facciata.....	309
Figura 5.14 - Pianta strutturale posizione dell'area di lavoro - Primo piano.....	309
Figura 5.15 - Regioni climatiche europee ^(5.20)	312
Figura 5.16 - Zone di carico di neve nella regione Svezia, Finlandia ^(5.21)	312
Figura 5.17 - Sezione del solaio di tipo A.....	367
Figura 5.18 - Posizione dell'area di calcolo - Collezione.....	368
Figura 5.19 - Carico nel caso del calcolo 1.....	368
Figura 5.20- Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 1.....	369
Figura 5.21 - Diagrammi del momento di flessione secondo il tipo di carico.....	370
Figura 5.22 - Diagrammi del taglio secondo il tipo di carico.....	370
Figura 5.23 - Diagrammi per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.....	372
Figura 5.24 - Posizione dell'area di calcolo - Studi.....	373
Figura 5.25 - Carico nel caso del calcolo 2.....	373
Figura 5.26 - Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 2 -1.....	374
Figura 5.27 - Combinazione dei carichi equivalenti - calcolo 2 -2.....	374
Figura 5.28 - Diagrammi dei momenti di flessione nella trave - calcolo 2 - 1.....	375
Figura 5.29 - Diagrammi dei momenti di flessione nella trave - calcolo 2 - 2.....	376
Figura 5.30 - Diagrammi del taglio nella trave - calcolo 2 - 1.....	376
Figura 5.31 - Diagrammi del taglio nella trave - calcolo 2 - 2.....	376
Figura 5.32 - Diagrammi per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.....	378
Figura 5.33 - Posizione dell'area di calcolo - Vano scala.....	379
Figura 5.34 - Sezione del solaio del vano scala dell'atrio.....	379
Figura 5.35 - Carico sulla trave del vano scala.....	381
Figura 5.36 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.....	381
Figura 5.37 - Proiezione 1 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.....	382
Figura 5.38 - Proiezione 2 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.....	382
Figura 5.39 - Proiezione 3 - Combinazione dei carichi sulla trave del vano scala.....	382
Figura 5.40 - Diagramma dei momenti di flessione nella trave del vano scala.....	383
Figura 5.41 - Diagramma del taglio nella trave del vano scala.....	384
Figura 5.42 - Diagramma dello sforzo normale nella trave del vano scala.....	385
Figura 5.43 - Diagramma del momento per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.....	387
Figura 5.44 - Diagramma del taglio per il calcolo con il principio dei lavori virtuali.....	387
Figura 5.45 - Posizione dell'area di calcolo - Trave in cls precompresso.....	393
Figura 5.46 - Sezione della trave in cls precompresso.....	393
Figura 5.47 - Carico e posizione delle sezioni di calcolo nella trave in cls precompresso.....	395
Figura 5.48 - Trave in fase iniziale.....	396
Figura 5.49 - Trave in fase transitoria di sollevamento.....	397
Figura 5.50 - Trave in fase incrementale di perdite immediate.....	397
Figura 5.51 - Trave in fase incrementale di carichi permanenti.....	398
Figura 5.52 - Trave in fase incrementale di carichi variabili.....	398
Figura 5.53 - Trave in fase incrementale di perdite.....	399
Figura 5.54 - Diagramma delle tensioni iniziali.....	402
Figura 5.55 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di perdite immediate.....	404
Figura 5.56 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di sovraccarichi permanenti.....	405
Figura 5.57 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di sovraccarichi variabili.....	406
Figura 5.58 - Determinazione grafica del coefficiente di viscosità.....	408
Figura 5.59 - Diagramma delle tensioni nella fase incrementale di perdite differite.....	409
Figura 5.60 - Schematizzazione della trave di calcolo al taglio.....	413
Figura 5.61 - Posizione dei ferri nella trave di calcestruzzo armato precompresso.....	413
Figura 6.1 - Diagramma delle temperature mensile.....	418
Figura 6.2 - Diagramma dell'umidità relativa media mensile.....	419
Figura 6.3 - Diagramma dell'irraggiamento orizzontale totale.....	419
Figura 6.4 - Principio di funzionamento nel periodo estivo.....	420
Figura 6.5 - Principio di funzionamento nel periodo invernale.....	421
Figura 6.6 - Principio di funzionamento di una stufa a legno modello Pyrot.....	422
Figura 6.7 - Esempio di pavimento radiante su un solaio in latero-cemento.....	422
Figura 6.8 - Distribuzione di calore comparativa fra un pavimento radiante e un termosifone.....	423
Figura 6.9 - Rete comunale di raffrescamento.....	423
Figura 6.10 - Funzionamento della rete comunale di raffrescamento.....	424
Figura 6.11 - Funzionamento del recuperatore di calore.....	424
Figura 6.12 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 1.....	437
Figura 6.13 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 1.....	438
Figura 6.14 - Istogramma dell'energia utile nel caso 1.....	439
Figura 6.15 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 2.1.....	440
Figura 6.16 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 2.1.....	441
Figura 6.17 - Istogramma dell'energia utile nel caso 2.1.....	441
Figura 6.18 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 2.2.....	442
Figura 6.19 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 2.2.....	443
Figura 6.20 - Istogramma dell'energia utile nel caso 2.2.....	443
Figura 6.21 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 3.....	445
Figura 6.22 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 3.....	445
Figura 6.23 - Istogramma dell'energia utile nel caso 3.....	446
Figura 6.24 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 4.....	447

Figura 6.25 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 4.....	447
Figura 6.26 - Istogramma dell'energia utile nel caso 4.....	448
Figura 6.27 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.1.....	449
Figura 6.28 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.1.....	450
Figura 6.29 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.1.....	450
Figura 6.30 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.2.....	451
Figura 6.31 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.2.....	452
Figura 6.32 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.2.....	452
Figura 6.33 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 5.3.....	454
Figura 6.34 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 5.3.....	454
Figura 6.35 - Istogramma dell'energia utile nel caso 5.3.....	455
Figura 6.36 - Istogramma degli apporti e perdite generali nel caso 6.....	456
Figura 6.37 - Istogramma degli apporti gratuiti nel caso 6.....	457
Figura 6.38 - Istogramma dell'energia utile nel caso 6.....	457
Figura 7.1 - Zona d'influenza dell'ombra del contesto in marzo.....	462
Figura 7.2 - Zona d'influenza dell'ombra del contesto in giugno.....	462
Figura 7.3 - Zona d'influenza dell'ombra del contesto in settembre.....	462
Figura 7.4 - Diagrammi solare all'intorno dell'edificio.....	463
Figura 7.5 - Dettaglio dell'ingresso della luce.....	464
Figura 7.6 - Sezione longitudinale con gli atri e pozzi di luce.....	464
Figura 7.7 - Piante di riferimento delle stanze per il calcolo del RAI.....	467
Figura 7.8 - Diagrammi del FLD nella collezione nord.....	468
Figura 7.9 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord - 1.....	469
Figura 7.10 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord - 2.....	470
Figura 7.11 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).....	471
Figura 7.12 - Diagrammi dell'illuminazione nella collezione nord secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).....	471
Figura 7.13 - Diagrammi del FLD nelle aule di lavoro.....	471
Figura 7.14 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord.....	472
Figura 7.15 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).....	473
Figura 7.16 - Diagrammi dell'illuminazione nelle aule di lavoro nord secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).....	473
Figura 7.17 - Diagrammi del FLD nell'amministrazione.....	473
Figura 7.18 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione.....	474
Figura 7.19 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione secondo il tipo di schermatura - Aprile alle 12 (prima valore di abbagliamento).....	475
Figura 7.20 - Diagrammi dell'illuminazione nell'amministrazione secondo il tipo di schermatura - Giugno (valore massima di abbagliamento).....	475

INDICE PROSPETTI

Prospetto 1.1 - Percentuale di persone che usano i media.....	50
Prospetto 1.2 - Percentuale di persone che partecipano alle attività.....	50
Prospetto 3.1 - Resistenza e reazione delle pareti e dei solai.....	158
Prospetto 3.2 - Compartimentazione e affollamento - 1.....	159
Prospetto 3.2 - Compartimentazione e affollamento - 2.....	160
Prospetto 3.3 - Larghezza delle uscite di sicurezza.....	160
Prospetto 4.1 - Tabella comparativa delle energie grigie.....	244
Prospetto 5.1 - Categorie di destinazione d'uso - 1.....	302
Prospetto 5.2 - Categorie di destinazione d'uso - 2.....	303
Prospetto 5.3 - Categorie di destinazione d'uso - 3.....	304
Prospetto 5.4 - Coefficienti parziali dei materiali.....	310
Prospetto 5.5 - Coefficienti di azioni per lo stato limite ultimo.....	311
Prospetto 5.6 - Coefficienti di azioni per lo stato limite ultimo con azione accidentale.....	311
Prospetto 5.7 - Coefficienti di azioni per lo stato limite di esercizio.....	311
Prospetto 5.8 - Coefficienti ψ per le azioni variabili.....	312
Prospetto 5.9 - Calcoli di sovraccarico di neve.....	312
Prospetto 5.10 - Sintesi dei pesi superficiali per tutte le pareti e le chiusure.....	313
Prospetto 5.10 - Caratteristiche geometriche della trave del solaio A.....	367
Prospetto 5.11 - Caratteristiche materiale del legno lamellare di tipo Kerto.....	367
Prospetto 5.12 - Combinazione d'azioni per il solaio A nel caso del calcolo 1.....	369
Prospetto 5.13 - Calcoli delle sollecitazioni per il solaio A nel calcolo 1.....	371
Prospetto 5.14 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite Ultimo per il calcolo 1.....	371
Prospetto 5.15 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite di Esercizio per il calcolo 1.....	372
Prospetto 5.16 - Combinazione d'azioni per il solaio A nel caso del calcolo 2.....	375
Prospetto 5.17 - Calcoli delle sollecitazioni per il solaio A nel calcolo 2.....	377
Prospetto 5.18 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite Ultimo per il calcolo 2.....	377
Prospetto 5.19 - Verifiche della trave dei solai A allo Stato limite di Esercizio per il calcolo 2.....	378
Prospetto 5.20 - Caratteristiche geometriche della trave del vano scala.....	380
Prospetto 5.21 - Caratteristiche materiale del legno lamellare di tipo Glulam.....	380
Prospetto 5.22 - Combinazione d'azioni per le trave del vano scala.....	382
Prospetto 5.23 - Calcolo delle sollecitazioni nella trave del vano scala.....	386
Prospetto 5.24 - Verifiche di tensione dovuta al momento di flessione per lo SLU nella trave del vano scala.....	386
Prospetto 5.25 - Verifiche di tensione dovuta al taglio e allo sforzo normale per lo SLU nella trave del vano scala.....	387
Prospetto 5.26 - Calcolo delle sollecitazioni per il calcolo del metodo delle forze.....	388
Prospetto 5.27 - Valore dei momenti di flessione secondo la posizione di calcolo e la loro parte per il calcolo del metodo delle forze.....	389
Prospetto 5.28 - Valore dei momenti di flessione secondo la posizione di calcolo per la trave del vano scala allo SLE.....	389
Prospetto 5.29 - Valore delle deformazioni dovute al momento di flessione.....	390
Prospetto 5.30 - Valore dei tagli secondo la posizione di calcolo per il calcolo del metodo delle forze.....	390
Prospetto 5.31 - Valore del taglio secondo la posizione di calcolo per la trave del vano scala allo SLE.....	391
Prospetto 5.32 - Valore delle deformazioni dovute al taglio.....	391
Prospetto 5.33 - Valore della deformazione massima della trave.....	392
Prospetto 5.34 - Caratteristiche geometriche della trave in calcestruzzo precompresso.....	394
Prospetto 5.35 - Caratteristiche del calcestruzzo per la trave T1.....	394
Prospetto 5.36 - Caratteristiche dell'acciaio di precompressione per la trave T1.....	394
Prospetto 5.37 - Calcolo dei carichi e sovraccarichi sulla trave in cls precompresso.....	395
Prospetto 5.38 - Posizione delle sezioni di calcolo.....	396
Prospetto 5.39 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase iniziale.....	397
Prospetto 5.40 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase transitoria.....	397
Prospetto 5.41 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).....	398
Prospetto 5.42 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).....	398
Prospetto 5.43 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase incrementale (carichi permanenti).....	399
Prospetto 5.44 - Caratteristiche geometriche e moduli resistenti.....	400
Prospetto 5.45 - Valore di tensioni ammissibili.....	400
Prospetto 5.46 - Sollecitazioni dovute agli acciai di precompressione.....	401
Prospetto 5.47 - Tensioni nella fase iniziale.....	401
Prospetto 5.48 - Perdite dovute alla deformazione del calcestruzzo.....	402
Prospetto 5.49 - Perdite dovute all'attrito.....	403
Prospetto 5.50 - Variazioni di sollecitazioni immediate negli acciai di precompressione.....	404
Prospetto 5.51 - Variazioni immediate di tensione negli acciai di precompressione.....	404
Prospetto 5.52 - Variazioni di tensione dovute ai sovraccarichi permanenti.....	405
Prospetto 5.53 - Variazioni di tensione dovute ai sovraccarichi variabili.....	406
Prospetto 5.54 - Perdite dovute al rilassamento delle armature di precompressione.....	406
Prospetto 5.55 - Perdite dovute al ritiro del calcestruzzo.....	407
Prospetto 5.56 - Perdite dovute alla deformazione viscosa del calcestruzzo - 1.....	408
Prospetto 5.57 - Perdite dovute alla deformazione viscosa del calcestruzzo - 2.....	409
Prospetto 5.58 - Variazioni delle sollecitazioni differite negli acciai di precompressione.....	409
Prospetto 5.59 - Variazioni immediate di tensione negli acciai di precompressione.....	409
Prospetto 5.60 - Sollecitazioni nelle sezioni di calcolo per la fase transitoria.....	410
Prospetto 5.61 - Tensioni nella sezione a' al momento di gancio.....	410
Prospetto 5.62 - Calcolo del momento flettente agente.....	410
Prospetto 5.63 - Calcolo del momento flettente resistente.....	411
Prospetto 5.64 - Calcolo del taglio agente.....	412
Prospetto 5.65 - Calcolo del taglio resistente.....	412
Prospetto 6.1 - Temperature e orari.....	426
Prospetto 6.2 - Trasmissione termica lineica dei ponti termici.....	427

<i>Prospetto 6.3 - Portate d'aria e umidità relativa.....</i>	<i>428</i>
<i>Prospetto 6.4 - Apporti interni.....</i>	<i>430</i>
<i>Prospetto 6.5 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 1.....</i>	<i>439</i>
<i>Prospetto 6.6 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 1.....</i>	<i>439</i>
<i>Prospetto 6.7 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 2.1.....</i>	<i>442</i>
<i>Prospetto 6.8 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 2.1.....</i>	<i>442</i>
<i>Prospetto 6.9 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 2.2.....</i>	<i>444</i>
<i>Prospetto 6.10 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 2.2.....</i>	<i>444</i>
<i>Prospetto 6.11 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 3.....</i>	<i>446</i>
<i>Prospetto 6.12 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 3.....</i>	<i>446</i>
<i>Prospetto 6.13 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 4.....</i>	<i>448</i>
<i>Prospetto 6.14 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 4.....</i>	<i>448</i>
<i>Prospetto 6.15 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.1.....</i>	<i>451</i>
<i>Prospetto 6.16 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.1.....</i>	<i>451</i>
<i>Prospetto 6.17 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.2.....</i>	<i>453</i>
<i>Prospetto 6.18 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.2.....</i>	<i>453</i>
<i>Prospetto 6.19 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 5.3.....</i>	<i>455</i>
<i>Prospetto 6.20 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 5.3.....</i>	<i>455</i>
<i>Prospetto 6.21 - Tabella delle perdite e degli apporti gratuiti nel caso 6.....</i>	<i>458</i>
<i>Prospetto 6.22 - Tabella dei fabbisogni e delle energie nel caso 6.....</i>	<i>458</i>
<i>Prospetto 7.1 - Calcolo del RAI -1.....</i>	<i>465</i>
<i>Prospetto 7.2 - Calcolo del RAI -2.....</i>	<i>466</i>
<i>Prospetto 7.3 - Valore di norma dell'illuminazione secondo l'attività interna dell'edificio.....</i>	<i>468</i>

INDICE TAVOLE

Tavola 1.1 - Inquadramento	56
Tavola 1.2 - Rete Helmet	58
Tavola 1.3 - Densità di popolazione	60
Tavola 1.4 - Tipologia di alloggi	62
Tavola 1.5 - Trasporti Pubblici Helsinki	74
Tavola 1.6 - Rete di trasporto pubblico	76
Tavola 1.7 - Rete di trasporto su gomma	78
Tavola 1.8 - Verde Urbano	82
Tavola 1.9 - Pieni Vuoti	84
Tavola 1.10 - Altezze	86
Tavola 1.11 - Viste generale	96
Tavola 1.12 - Accessi	98
Tavola 1.13 - Edifici sull'area di progetto	100
Tavola 1.14 - Edifici del quartiere	102
Tavola 2.1 - Planimetria	126
Tavola 2.2 - Sezioni ambientali	128
Tavola 3.1 - Si - 3D Funzionale - 1	166
Tavola 3.2 - Si - 3D Funzionale - 2	168
Tavola 3.3 - Si - Sezione Funzionale	170
Tavola 3.4 - Si - Piano interrato	172
Tavola 3.5 - Si - Piano Seminterrato	174
Tavola 3.6 - Si - Piano Rialzato	176
Tavola 3.7 - Si - Primo piano	178
Tavola 3.8 - Si - Secondo piano	180
Tavola 3.9 - Si - Terzo Piano	182
Tavola 3.10 - Si - Quarto Piano	184
Tavola 3.11 - PA - Piano interrato	188
Tavola 3.12 - PA - Piano seminterrato	190
Tavola 3.13 - PA - Piano Rialzato	192
Tavola 3.14 - PA - Primo piano	194
Tavola 3.15 - PA - Secondo piano	196
Tavola 3.16 - PA - Terzo piano	198
Tavola 3.17 - PA - Quarto piano	200
Tavola 3.18 - PA - Piano del tetto	202
Tavola 3.19 - Sezione AA	206
Tavola 3.20 - Sezione BB	208
Tavola 3.21 - Sezione CC	210
Tavola 3.22 - Sezione DD	212
Tavola 3.23 - Sezione EE	214
Tavola 3.24 - Sezione FF	216
Tavola 3.25 - Prospetto Nord - Giorno	220
Tavola 3.26 - Prospetto Sud - Giorno	222
Tavola 3.27 - Prospetto Est - Giorno	224
Tavola 3.28 - Prospetto Ovest - Giorno	226
Tavola 3.29 - Prospetto Nord - Notte	228
Tavola 3.30 - Prospetto Sud - Notte	230
Tavola 3.31 - Prospetto Est - Notte	232
Tavola 3.32 - Prospetto Ovest - Notte	234
Tavola 4.1 - Blow up	280
Tavola 4.2 - Nodo orizzontale 1	282
Tavola 4.3 - Nodo Verticale 1	284
Tavola 4.4 - Nodo Verticale 2	286
Tavola 4.5 - Nodo Verticale 3	288
Tavola 4.6 - Nodo Verticale 4	290
Tavola 4.7 - Nodo Verticale 5	292
Tavola 4.8 - Nodo Verticale 6	294
Tavola 4.9 - Nodo Verticale 7	296
Tavola 5.1 - Fondazioni	344
Tavola 5.2 - Piano interrato	346
Tavola 5.3 - Piano rialzato	348
Tavola 5.4 - Primo piano	350
Tavola 5.5 - Secondo piano	352
Tavola 5.6 - Terzo piano	354
Tavola 5.7 - Quarto piano	356
Tavola 5.8 - Tetto	358
Tavola 5.9 - Sezione AA	360
Tavola 5.10 - Sezione BB	362
Tavola 5.11 - Sezione CC	364

INDICE RIFERIMENTI

Ref. 5.1 - Brief del concorso per la biblioteca	302
Ref. 5.2 - EN 1990:2002 - Table 2.1	302
Ref. 5.3 - EN 1990:2002 - Table B1	302
Ref. 5.4 - EN 1990:2002 - Table B2	302
Ref. 5.5 - UNI EN 1991-1-1:2004 - Prospetti 6.1 a 6.12	302
Ref. 5.6 - EN 1990:2002 - Section 4.1.1	310
Ref. 5.7 - EN 1990:2002 - Equazione 6.3	310
Ref. 5.8 - UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 2.1N	310
Ref. 5.9 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Prospetto 2.3	310
Ref. 5.10 - EN 1990:2002 - 6.10	310
Ref. 5.11 - EN 1990:2002 - 6.11b	311
Ref. 5.12 - EN 1990:2002 - 6.14b	311
Ref. 5.13 - EN 1990:2002 - 6.15b	311
Ref. 5.14 - EN 1990:2002 - 6.16b	311
Ref. 5.15 - EN 1990:2002 - Table A1.2(A)	311
Ref. 5.16 - EN 1990:2002 - Table A1.2(B)	311
Ref. 5.17 - EN 1990:2002 - Table A1.3	311
Ref. 5.18 - EN 1990:2002 - Table A1.4	311
Ref. 5.19 - EN 1990:2002 - A1.1	312
Ref. 5.20 - UNI EN 1991-1-3:2004 - Figure C1	312
Ref. 5.21 - UNI EN 1991-1-3:2004 - Figure C8	312
Ref. 5.22 - UNI EN 1991-1-3:2004 - Prospetto 5.2	312
Ref. 5.23 - UNI EN 1991-1-3:2004 - Prospetto 5.1	312
Ref. 5.24 - Valore del costruttore Metsä wood	367
Ref. 5.25 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.15	367
Ref. 5.26 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.16	367
Ref. 5.27 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 2.17	367
Ref. 5.28 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.11	371
Ref. 5.29 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.13	371
Ref. 5.30 - UNI EN 1995-1-1:2009 - Equazione 6.13a	371
Ref 5.31 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 3.1	394
Ref 5.32 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.15	394
Ref 5.33 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto C.1	394
Ref 5.34 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Paragrafo 3.2.7	395
Ref 5.35 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 5.41	395
Ref 5.36 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Paragrafo 3.3.3	395
Ref 5.37 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 5.44	402
Ref 5.38 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.1	402
Ref 5.39 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 5.1	403
Ref 5.40 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 5.45	403
Ref 5.41 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Paragrafo 3.3.2	406
Ref 5.42 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.29	406
Ref 5.43 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 3.2	407
Ref 5.44 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Prospetto 3.3	407
Ref 5.45 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.9	407
Ref 5.46 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.12	407
Ref 5.47 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.8	407
Ref 5.48 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Paragrafo 3.1.4	409
Ref 5.49 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Figura 3.1	409
Ref 5.50 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 3.6	409
Ref 5.51 : UNI EN 1992-1-1:2005 - Equazione 6.8	412

FONTE FIGURE

Fig 0.36 - 1.1 - 1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5 - 1.6 - 1.7 - 1.8 - 1.9 - 1.10 - 1.11 - 1.12 - 1.13 - 1.14 - 1.15 - 1.16 - 1.17 - 1.18 - 1.19 - 1.20 - 1.21 - 1.22 - 1.35 - 1.36 - 1.37 - 1.38 - 1.40 - 1.52 - 2.1 - 2.2 - 2.3 - 2.4 - 2.5 - 2.6 - 2.7 - 2.8 - 2.9 - 2.10 - 2.11 - 2.29 - 2.30 - 2.31 - 2.32 - 2.33 - 2.34 - 2.35 - 3.6 - 3.19 - 3.20 - 3.21 - 3.22 - 3.25 - 3.27 - 3.28 - 3.32 - 3.33 - 3.34 - 3.35 - 3.39 - 3.40 - 3.46 - 3.48 - 3.49 - 3.50 - 3.56 - 3.58 - 3.62 - 3.66 - 4.16 - 4.17 - 5.1 - 5.2 - 5.3 - 5.4 - 5.5 - 5.6 - 5.7 - 5.8 - 5.9 - 5.10 - 5.11 - 5.12 - 5.13 - 5.14 - 5.17 - 5.18 - 5.19 - 5.20 - 5.21 - 5.22 - 5.23 - 5.24 - 5.25 - 5.26 - 5.27 - 5.28 - 5.29 - 5.30 - 5.31 - 5.32 - 5.33 - 5.34 - 5.35 - 5.36 - 5.37 - 5.38 - 5.39 - 5.40 - 5.41 - 5.42 - 5.43 - 5.44 - 5.45 - 5.46 - 5.47 - 5.48 - 5.49 - 5.50 - 5.51 - 5.52 - 5.53 - 5.54 - 5.55 - 5.56 - 5.57 - 5.59 - 5.60 - 5.61 - 6.1 - 6.2 - 6.3 - 6.4 - 6.5 - 6.12 - 6.13 - 6.14 - 6.15 - 6.16 - 6.17 - 6.18 - 6.19 - 6.20 - 6.21 - 6.22 - 6.23 - 6.24 - 6.25 - 6.26 - 6.27 - 6.28 - 6.29 - 6.30 - 6.31 - 6.32 - 6.33 - 6.34 - 6.35 - 6.36 - 6.37 - 6.38 - 7.1 - 7.2 - 7.3 - 7.4 - 7.5 - 7.6 - 7.7 - 7.8 - 7.9 - 7.10 - 7.11 - 7.12 - 7.13 - 7.14 - 7.15 - 7.16 - 7.17 - 7.18 - 7.19 - 7.20.

Prospetto 1.1 - 1.2 - 3.1 - 3.2 - 3.3 - 4.1 - 5.1 - 5.2 - 5.3 - 5.4 - 5.5 - 5.6 - 5.7 - 5.8 - 5.9 - 5.10 - 5.11 - 5.12 - 5.13 - 5.14 - 5.15 - 5.16 - 5.17 - 5.18 - 5.19 - 5.20 - 5.21 - 5.22 - 5.23 - 5.24 - 5.25 - 5.26 - 5.27 - 5.28 - 5.29 - 5.30 - 5.31 - 5.32 - 5.33 - 5.34 - 5.35 - 5.36 - 5.37 - 5.38 - 5.39 - 5.40 - 5.41 - 5.42 - 5.43 - 5.44 - 5.45 - 5.46 - 5.47 - 5.48 - 5.49 - 5.50 - 5.51 - 5.52 - 5.53 - 5.54 - 5.55 - 5.56 - 5.57 - 5.58 - 5.59 - 5.60 - 5.61 - 5.62 - 5.63 - 5.64 - 5.65 - 6.1 - 6.2 - 6.3 - 6.4 - 6.5 - 6.6 - 6.7 - 6.8 - 6.9 - 6.10 - 6.11 - 6.12 - 6.13 - 6.14 - 6.15 - 6.16 - 6.17 - 6.18 - 6.19 - 6.20 - 6.21 - 6.22 - 7.1 - 7.2 - 7.3.

Fonte: Fotografie e lavoro creato dagli autori

Fig 0.1: Fonte: Tolzmann - Don Heinrich - Hessel - Peiss, The Memory of Mankind. New Castle, DE: Oak Knoll Press, 2001.

Fig 0.2: Fonte: Cancik - Schneider - Landfester - Salazar - Gentry, Brill's new pauly: Encyclopaedia of the ancient world antiquity, Brill, 2002.

Fig 0.3: Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Museo_della_civilt%C3%A0_romana_-_ricostruzione_di_una_biblioteca_1150144.JPG,

Autore : Lalupa.

Fig 0.4: Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Plan_Rome_caen_Forum_Trajan.jpg, Autore : Pascal Radigue.

Fig 0.5: Fonte: Bousmanne - Delcourt, Miniatures flamandes, Bibliothèque nationale de France/Bibliothèque royale de Belgique, 2012.

Fig 0.6: Fonte: https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Merton_College_library_hall.jpg Autore: Tom Murphy VII.

Fig 0.7: Fonte: <http://archiwatch.it/2010/09/01/5134/>.

Fig 0.8: Fonte: <http://interiorandmore.wordpress.com/author/patriciaviegas/page/3/>.

Fig 0.9: Fonte: DELLA SANTA LEOPOLDO, Della Costruzione e del Regolamento di una pubblica universale biblioteca, 1816.

Fig 0.10: Fonte: http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bibliothek_Sainte-Genevi%C3%A8ve_ground_floor_plan.jpg.

Fig 0.11: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biblioth%C3%A8que_Sainte-Genevi%C3%A8ve_floor_plan.jpg.

Fig 0.12: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:British_Museum_Reading_Room_Panorama_Feb_2006.jpg Autore: Diliff.

Fig 0.13: Fonte: <http://destinocalifornia.com/2012/05/> Autore: Carolina Valverde - Guilherme Assis.

Fig 0.14: Fonte: Harley J.J., Every Saturday, 1871.

Fig 0.15: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stockholms_stadsbibliotek_rotundan.jpg.

Fig 0.16 - 0.17: Fonte: FLEIG KARL, Alvar Aalto, Works and Projects, 4th edition, 1994.

Fig 0.18: Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_H598EFuqT0A/SxGf-q3kpzI/AAAAAAAAPLU/Os7jJ8pEvhg/s1600/m%C3%A9diath%C3%A8que.JPG Autore: Rudy Vienne.

Fig 0.19 - 0.20 - 0.21 - 0.22 - 0.23 - 3.47: Fonte: City of Helsinki, The heart of the metropolis - Helsinki central library architectural competition 2012-2013 - competition program.

Fig 0.24 - 0.25 - 0.26 - 0.27 - 0.28 - 0.29 - 0.37 - 0.38: Fonte: Leisti Mikko - Marsio Leena, Central Library Review Report - The heart of the Metropolis - The heart of Helsinki.

Fig : 0.30 - 0.31 - 0.32 - 0.33 - 0.34 - 0.35 - 2.24 - 2.25 - 2.26 - 2.27 - 2.28 : Fonte: City of Helsinki Library, Project plan summary for the press, 2010.

Fig 1.23 - 1.24: Fonte: <http://www.nba.fi/helsinginarkeologiaa/popup/1645.htm> Autore : Hans Hansson.

Fig 1.25: Fonte: <http://kaino.kotus.fi/www/verkkojulkaisut/julk125/helsinki/rantaviiva1.shtml> Autore: Johan Albrecht Ehrenstöm.

Fig 1.26: Fonte: http://www.vanhakartta.fi/historialliset-kartat/kaupunkikartat/glyden/@@mapview?handle=hdl_123456789_21532 Autore: Claes Wilhelm Gylden.

Fig 1.27: Fonte: <http://koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/Vesist%C3%B6kartat/Helsingin%20edusta%201850%20281908%29.jpg>.

Fig 1.28: Fonte: <http://koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/%C2%B4%C2%B4Senaatin%20kartasto%C2%B4%C2%B4Helsinki%201:21.000%201871-1872%2028+1886%29%20282+0,%20hk%29.jpg>.

Fig 1.29: Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Karta_%C3%B6ver_Helsingfors_vid_1900-talets_b%C3%B6rjan_\(ur_Nordisk_familjebok\).jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Karta_%C3%B6ver_Helsingfors_vid_1900-talets_b%C3%B6rjan_(ur_Nordisk_familjebok).jpg).

Fig 1.30: Fonte: <http://koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/Taloudelliset%20kartat/Taloudellinen%20kartta%201:100.000%20Helsinki%201919.jpg>.

Fig 1.31: Fonte: <http://koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/Taloudelliset%20kartat/Taloudellinen%20kartta%201:100.000%20Helsinki-Riihim%C3%A4ki%201936%20282+0%29.jpg>.

Fig 1.32: Fonte: <http://koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/Topografiset%20kartat/Topografinen%20kartta%201:20.000%20Helsinki%201944%20282+0%29.jpg>.

Fig 1.33: Fonte: http://www.kaupunginosat.net/vanha_toolo/kuvagalleria/helsinki1980.JPG.

Fig 1.34: Fonte: <http://ptp.hel.fi/ptpa/default.aspx>

Fig 1.41 - 1.42 - 1.43 - 1.45 - 1.46: Fonte: HELSINKI CITY PLANNING DEPARTMENT, Urban guide Helsinki, City of Helsinki, 2006.

Fig 1.44: Fonte: <http://en.uuttahelsinki.fi/areas/1/kalasatama/2/overview> Autore : Jarmo Roiko-Jokela.

Fig 1.47: Fonte: City of Helsinki, Jätkäsaaren aloitusvaiheen asemakaavan muutoslunnon.

Fig 1.48: Fonte: http://www.hidden-helsinki.com/wp-content/uploads/2012/07/baana_helsinki_tourism-23.jpg.

Fig 1.49 - 1.50: Fonte: City of Helsinki, Center Pasila tower Area Detailed plan.

Fig 1.51: Fonte: http://en.uuttahelsinki.fi/sites/en.uuttahelsinki.fi/files/imagecache/gallery_image/PASILA_digitalmedia.jpg?1285056601

Fig 1.53: Fonte: <http://hokuouzemil.exblog.jp/i100/> Autore: Hirayama Susumu.

Fig 1.54: Fonte: <http://www.flickr.com/photos/phototouring/4181130519/> Autore: Phototouring.

Fig 1.55: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Finlandia_A-Wiki.jpg Autore: Thermos.

Fig 1.56: Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FinlandNationalMuseum.jpg> Autore : Thermos.

Fig 1.57: Fonte: <http://www.ains.fi/node/330> Autore: Marko Kivistö.

Fig 1.58: Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eduskuntatalo_\(Finnish_Parliament_building\).JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Eduskuntatalo_(Finnish_Parliament_building).JPG) Autore: Cako.

Fig 1.59: Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ViewOfficeParliamentFinland.jpg> Autore: Thermos.

Fig 1.60: Fonte: <http://www.flickr.com/photos/teunvandendries/2658494078/> Autore: Teun van den Dries.

Fig 1.61: Fonte: <http://www.helsinki.fi/valtiotieteellinen/images/Kuvat/Veikko%20Somerpuro%202009/Sanomatalo%20jpeg/Sanomatalo-5.jpg> Autore: Veikko Somerpuro.

Fig 1.62: Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HelsinkiCentralPostOffice.jpg> Autore: Thermos.

Fig 1.63: Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Helsinki_Railway_Station_20050604.jpg Autore: Revontuli.

Fig 1.64: Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FinnishNationalTheatreFromSouth.jpg> Autore: Thermos.

Fig 1.65: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lutheran_Cathedral_Helsinki.jpg Autore: © Hans Hillewaert / CC-BY-SA-3.0.

Fig 1.66: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aleksanteri_toisen_patsas.jpg Autore: Neofelis Nebulosa.

Fig 2.12: Fonte: <http://www.fotopedia.com/items/flickr-152697503> Autore: Alexander Osterwalder.

Fig 2.13: Fonte: <http://www1.nancy.fr/quartiers/charles-iii-centre-ville.html> Autore: Ville de Nancy.

Fig 2.14: Fonte: http://ecx.images-amazon.com/images/I/5loQpg7E4L_SX300.jpg Autore: allposters.

Fig 2.15: Fonte: <http://www.flickr.com/photos/rg33/3522859803/> Autore: RG1033.

Fig 2.16: Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Champ_de_Mars_\(Le_P%C3%A2quier\)_-_Annecy.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Champ_de_Mars_(Le_P%C3%A2quier)_-_Annecy.JPG) Autore: Florian Pèpellin.

Fig 2.17: Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:T%C3%B6%C3%B6%C3%B6lahti_\(Helsinki\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:T%C3%B6%C3%B6%C3%B6lahti_(Helsinki).jpg) Autore: dalbera.

Fig 2.18: Fonte: http://www.wikicrs.it/wordpress/wp-content/uploads/2013/03/milano_parco_sempione-big.jpg
 Fig 2.19: Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Le_jardin_du_parc_de_Sceaux.jpg Autore: besopha.
 Fig 2.20: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_worlds_best_Hyde_park_Sydney.jpg Autore: Adam.J.W.C.
 Fig 2.21: Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Le_grand_bassin_du_parc_de_sceaux_\(92\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Le_grand_bassin_du_parc_de_sceaux_(92).jpg) Autore: besopha.
 Fig 2.22: Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lac-aux-castors.jpg> Autore: Montrealais.
 Fig 2.23: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ch%C3%A2teau_de_Versailles_-_Le_grand_canal_-_206.jpg Autore: thesupermat.
 Fig 3.1: Fonte: <http://www.designbuild-network.com/projects/seattle-library/images/1-seattle-central-library.jpg>
 Fig 3.2: Fonte: <http://1.bp.blogspot.com/-ur5knhxL4Mo/Ts4cL0oZYyI/AAAAAAAAABs/uv-IM77Bm3M/s1600/Picture12.png>
 Fig 3.3: Fonte: <http://www.ideamsg.com/wp-content/uploads/2012/05/Seattle-Public-Library-OMA-Rem-Koolhaas9.jpg>
 Fig 3.4: Fonte: <http://uiaprojectscuatro.files.wordpress.com/2012/04/screen-shot-2012-04-17-at-3-09-45-pm.png> Autore: OMA.
 Fig 3.5: Fonte: <http://f.building-supply.dk/2s5rpn3f0nicc24b.png>
 Fig 3.7: Fonte: <http://www.aalsp.dk/pics/multimediehuset.jpg>
 Fig 3.8: Fonte: <http://fotosenoticias.com/wp-content/uploads/2013/03/Biblioteca-de-aarhus.jpg>
 Fig 3.9: Fonte: http://shl.php.dir.dk/maillist/shl-uploads/Image/Multimediehuset/Multimediehuset_afeten_1.jpg
 Fig 3.10: Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Interior_Vancouver_Library_Square_2006_Ben_W_Bell.jpg Autore: Ben W Bell.
 Fig 3.11: Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Salt_Lake_City_Public_Library_Intern.jpg Autore: Nova 77.
 Fig 3.12: Fonte: http://www.archdaily.com/136377/utrecht-library-wiel-arets-architects/123_0492_01/ Autore: Jan Bitter.
 Fig 3.13: Fonte: http://www.flickr.com/photos/miki_fog/4837451377/ Autore: Miguel Nebel.
 Fig 3.14: Fonte: http://www.archdaily.com/136377/utrecht-library-wiel-arets-architects/123_0507_04/ Autore: Jan Bitter.
 Fig 3.15: Fonte: http://www.archdaily.com/136377/utrecht-library-wiel-arets-architects/01_ag/ Autore: Jan Bitter.
 Fig 3.16: Fonte: <http://www.architbang.com/project/view/p/3583> Autore: Toyo Ito.
 Fig 3.17 - 3.18: Fonte: COPANS RICHARD, Architectures vol.4 : La médiathèque de Sendai, Arte France, 2005.
 Fig 3.23: Fonte: http://welldesignedandbuilt.files.wordpress.com/2013/03/toyo-ito_sendai-mediathèque-041.jpg Autore: Tomio Ohashi.
 Fig 3.24: Fonte: http://3.bp.blogspot.com/_oeJP1WTAU/UOCya_3MW2I/AAAAAAAAAak/h8v-OoV2YIM/s1600/st+malo_pers+int01.jpg
 Autore: Manuel Calabro.
 Fig 3.26: Fonte: <http://www.unicaen.fr/recherche/mrsh/files/images/cafeteria.jpg> Autore: Maison des recherches en sciences humaines.
 Fig 3.29: Fonte: <http://palf.org/wordpress/wp-content/uploads/downtown-library-renovated-kids.jpg> Autore: Palo Alto library foundation.
 Fig 3.30: Fonte: <http://www.archdaily.com/107762/ramsey-county-roseville-library-meyer-scherer-rockcastle/12children/> Autore: Lara Swimmer Photography.
 Fig 3.31: Fonte: <http://www.provincie-utrecht.nl/publish/library/19/lerares-leest-voor-aan-3-ki.jpg> Autore: Provincie Utrecht.
 Fig 3.36: Fonte: http://www.casting-creditagricole.fr/resources/block/b7/thumbs/53_1_50096825aab3c_40f21bf172853d5328084b22e1ff419dbebc1e53.jpg Autore: le Fil.
 Fig 3.37: Fonte: <http://www.master-industrie.com/realisations/realisations> Autore: Master industrie.
 Fig 3.38: Fonte: http://www.centrepompidou-metz.fr/sites/default/files/images/batiment-cpm/web_mg_8914-redim.jpg Autore: Centre Pompidou Metz.
 Fig 3.41: Fonte: <http://somaliliiitto.fi/wp-content/uploads/2011/05/somalibook3a.jpg> Autore: Scansom Publishers, SSUF, Somali Publishers and Writers Association.
 Fig 3.42: Fonte: <http://f.hatena.ne.jp/senblo/20090222165912>
 Fig 3.43: Fonte: http://www.bib.umontreal.ca/communiqués/images/communiqués/bib_nvelle_salle02_001.jpg Autore: Bibliothèque de Montréal.
 Fig 3.44: Fonte: http://www.danda.be/gallery/sendai_mediathèque/1461_normal.jpg Autore: Axel Vansteenkiste.
 Fig 3.51: Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amsterdam_Fab_Lab_at_The_Waag_Society.JPG Autore: Rory Hyde
 Fig 3.52: Fonte: <http://www.flickr.com/photos/entressenkirjasto/8435398276/> Autore: Entressen kirjasto
 Fig 3.53: Fonte: <http://businesstech.co.za/news/wp-content/uploads/2012/01/Kinect-2.jpg> Autore: Businesstech by mybroadband
 Fig 3.54: Fonte: <http://www.septjoursabrest.fr/wp-content/uploads/2011/11/jeuvid%C3%A9a-493x328.jpg> Autore: Rédaction septjoursabrest.fr
 Fig 3.55: Fonte: http://www.astrolab.net/images/projets/illu_cea_01.jpg Autore: Astrolab
 Fig 3.57: Fonte: ZORROZAURRE ART WORKING PROGRESS, Premières rencontres des états généraux permanents du réseau des living labs et espaces français de l'innovation : La Haceria artes escénicas de Bilbao, 2013
 Fig 3.59: Fonte: Coopers fire, Firemaster active fire curtain barrier assemblies
 Fig 3.60 - 3.61: Fonte: Robertson ventilation industries, Smokemaster SM5 - Automatic Smoke curtain
 Fig 3.63: Fonte: http://www.firest.eu/immagini/prodotti/thumb_P%20Kg.%206%2090a.JPG Autore: Firest
 Fig 3.64: Fonte: <http://www.psa-antincendi.com/immagini/ldran.jpg> Autore: Progettazioni e sistemi antincendio
 Fig 3.65: Fonte: <http://www.aesnational.co.uk/wp-content/uploads/2012/05/four-images1.png> Autore: AES National ltd
 Fig 4.1 - 4.5: Fonte: Metsä Wood, Manuale introduttivo sul legno compensato impiallacciato Kerto, 2007
 Fig 4.2: Fonte: Metsä Wood, Kerto - Caratteristiche tecniche
 Fig 4.3: Fonte: Finnforest corporation building system, Plattenkonstruktionen Kerto - Furnierschichtholz, 2003
 Fig 4.4 - 4.6: Fonte: Metsä Wood, Caisson Kerto Ripa - Caratteristiche tecniche
 Fig 4.7: Fonte: <http://www.burohappold.com/fileadmin/uploads/bh/Photos/Projects/Slideshow/St%20Mary%20Magdalene%20Academy%20walkway.jpg> Autore: Buro Appold
 Fig 4.8: Fonte: Finnforest merk, Timber construction, 2008
 Fig 4.9: Fonte: Metsä Wood, Kerto concept brochure, 2012
 Fig 4.10: Fonte: <http://www.genkelarchitekten.de/wikimages/850-webpage/behnisch-unilever-hamburg1.jpg>
 Fig 4.11: Fonte: http://updatetechnology.ie/imgs/projects/commercial/elm_park_1.jpg
 Fig 4.12: Fonte: http://s2.blomedia.pl/gadzetomania.pl/images/2011/11/bilbao_2.jpg Autore: Aleix Bagué
 Fig 4.13: Fonte: <http://www.flickr.com/photos/janmartin/431363540/> Autore: Jan Martin
 Fig 4.14: Fonte: http://reseau.batiactu.com/images/realisations/big/2764_20130331102622_eb3169fa58fb1f95c7d9c1f4b3a97034.jpg
 Fig 4.15: Fonte: Baron Jean-Jacques - Cours de construction générale ESTP
 Fig 5.15 - 5.16: Fonte: UNI EN 1991-1-3, Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture. Azioni in generale: carichi da neve, 2004
 Fig 5.58: Fonte: UNI EN 1992-1-1, Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici, 2005
 Fig 6.6: Fonte: Viessmann, Heating with wood, 2012
 Fig 6.7: Fonte: <http://www.onegliamario.com/images/catalogo/riscaldamento1.jpg>
 Fig 6.8: Fonte: Maseria Gabriele, Corso di Progettazione degli elementi costruttivi, 2011
 Fig 6.9: Fonte: Helsingin Energia, District cooling. A cooling solution for climate challenges, 2012
 Fig 6.10: Fonte: Helsingin Energia, District cooling in Helsinki - general presentation
 Fig 6.11: Fonte: DAIKIN, Catalogo VRV, 2013

BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

Libri

- DELLA SANTA LEOPOLDO, *Della Costruzione e del Regolamento di una pubblica universale biblioteca*, 1816
 DURAND JEAN-NICOLAS-LOUIS, *Précis des leçons d'architecture données à l'École Polytechnique*, 1802–1805.
 FLEIG KARL, *Alvar Aalto, Works and Projects*, 4th edition, 1994.
 MUSCOGIURI MARCO, *Architettura della biblioteca. Linee guida di programmazione e progettazione*, Sylvestre Bonnard, 2004

Riviste

- DUFOUR JEAN, *L'An 2 de la médiathèque, Bulletin des bibliothèques de France*, 1994 - t. 39, n° 2

Rapporti

- CITTÀ DI HELSINKI, *Heart of the Metropolis*, 2008
 CITTÀ DI HELSINKI, *Helsinki Central Library Architectural Competition*, 2012
 CITTÀ DI HELSINKI, *Project plan summary for the press*, 2010

PARTE 1 – CONTESTO

Libri

- HELSINKI CITY PLANNING DEPARTMENT, *Urban guide Helsinki, City of Helsinki*, 2006

Rapporti

- CITTÀ DI HELSINKI, *Introducing major urban development projects*, 2013
 EUROSTAT, *European cultural statistics*, 2007
 EUROSTAT, *European cultural statistics*, 2011
 HELSINKI CITY PLANNING DEPARTMENT OF HELSINKI, *Keski-Pasila*, 2007

Website

- En.uuttahelsinki.fi – Presentazione dei progetti di Helsinki
 koti.kapsi.fi/timomeriluoto/KARTAT/Vesist%C3%b6kartat – Collezioni cartacee
 Tilastokeskus.fi – Statistiche sulla Finlandia
 Www.hel.fi – Municipio di Helsinki

PARTE 2 – URBANISTICA

Libri

- CITTÀ DI HELSINKI, *Project plan summary for the press*, 2010
 HELSINKI CITY PLANNING DEPARTMENT, *Urban guide Helsinki, City of Helsinki*, 2006

Website

- Www.hel.fi – Municipio di Helsinki

PARTE 3 – ARCHITETTURA

Libri

- ARETS WIEL, *Living library: Utrecht university library*, Prestel, 2005
 HERZOG & DE MEURON, *Eberswalde library, Architectural association*, 2000
 MAKKONEN LEENA, *Modern architecture in Helsinki, City of Helsinki*, 2012
 MUSCOGIURI MARCO, *Architettura della biblioteca. Linee guida di programmazione e progettazione*, Sylvestre Bonnard, 2004
 MUSCOGIURI MARCO, *Biblioteche. Architettura e progetto. Scenari e strategie di progettazione*, Maggioli Editore, 2009
 QUANTRILL MALCO, *Finnish Architecture and the Modernist Tradition*, Taylor & Francis, 1998

Manuali

- NEUFERT ERNST, A CURA DI BAGLIONI ADRIANA E GOTTFRIED ARIE, *Enciclopedia pratica per progettare e costruire*, Ottava edizione, Hoepli, 2009

Rapporti

- FONDATION TERRITOIRES DE DEMAÏN, *Premières rencontres des états généraux permanents du réseau des living labs et espaces français de l'innovation : Los laboratorios de innovación abierta y de ruptura*, 2013
 ZORROZAURRE ART WORKING PROGRESS, *Premières rencontres des états généraux permanents du réseau des living labs et espaces français de l'innovation : La Haceria artes escénicas de Bilbao*, 2013
 MUTÉCOS, *Les réseaux « AGILES » : nouveaux chemins de croissance*, 2012

Normative

- DPR n°151, *Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi*, 1 agosto 2011.
 DPR n°418, *Regolamento concernente norme di sicurezza antincendio per gli edifici di interesse storico-artistico destinati a biblioteche ed archivi*, 30 giugno 1995.
 National building code of Finland, *capitolo E1 Fire safety of buildings*, 2002.
 National building code of Finland, *capitolo F1 Barrier-free building*, 2005.

Video

COPANS RICHARD, *Architectures vol.1 : Le centre Georges Pompidou*, Arte France, 2001
 COPANS RICHARD, *Architectures vol.4 : La médiathèque de Sendai*, Arte France, 2005

Website

Lj.libraryjournal.com – Rivista specializzata sulle biblioteche.

PARTE 4 – TECNOLOGICO**Manuali**

METSÄ WOOD, *Manuale introduttivo sul legno compensato impiallacciato Kerto*, 2007
 METSÄ WOOD, *Guide de conception. Solutions bois pour la maison individuelle*, 2008
 METSÄ WOOD, *Kerto environmental declaration*, 2012
 METSÄ WOOD, *Kerto concept brochure*, 2012
 MCLEOD VIRGINIA, *Dettaglio di architettura in legno*, Logos, 2010

Normative

UNI EN ISO 6946, *Componenti e elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo*, 1999
 UNI 10351, *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore*, 1994
 UNI EN ISO 13786, *Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo*, 2001

PARTE 5 – STRUTTURA**Libri**

TONIOLO GIANDOMENICO, *Tecnica delle costruzioni vol.1: Calcolo strutturale – I telai*, Zanichelli, 1990
 TONIOLO GIANDOMENICO, *Tecnica delle costruzioni vol.2A: Cemento armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 1993
 TONIOLO GIANDOMENICO, *Tecnica delle costruzioni vol.2B: Cemento armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 1995

Manuali

METSÄ WOOD, *Manuel caisson Kerto-Ripa*, 2012
 METSÄ WOOD, *Glulam*, 2012

Normative

Decreto ministeriale, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le infrastrutture*, 14 gennaio 2008
 Eurocodice:
 – EN 1990:2002/A1, *Eurocode – Basis of structural design*, 2005
 – UNI EN 1991-1-1, *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture. Azioni in generale: pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici*, 2004
 – UNI EN 1991-1-3, *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture. Azioni in generale: carichi da neve*, 2004
 – UNI EN 1991-1-4, *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture. Azioni in generale: azioni del vento*, 2010
 – UNI EN 1992-1-1, *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici*, 2005
 – UNI EN 1995-1-1, *Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno. Regole generali: Regole comuni e regole per gli edifici*, 2005
 – UNI EN 1995-1-2, *Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno. Regole generali: progettazione strutturale contro l'incendio*, 2005

PARTE 6 – IMPIANTI E CALCOLI TERMICI**Rapporti**

HELSINGIN ENERGIA, *District cooling. A cooling solution for climate challenges*, 2012
 DAIKIN, *Catalogo VRV*, 2013

Normative

Decreto n°5796, *Prestazione energetica del sistema edificio-impianto. Procedura di calcolo*, 11 giugno 2009
 LVI 05-10440 en, *Classification of indoor environment*, 2008
 NATIONAL BUILDING CODE OF FINLAND, *capitolo D3 Energy efficiency of buildings*, 2012
 NATIONAL BUILDING CODE OF FINLAND, *capitolo D5 Calculation of power and energy needs for heating of buildings*, 2012
 Règles Th-U Ex, *Fascicule 1/5 : coefficient Ubât*, 2008.
 UNI EN ISO 14683, *Ponti termici in edilizia. Coefficienti di trasmissione termica lineica*, 2001

Website

Www.environment.fi – sito della Finland's environmental administration

PARTE 7 – ILLUMINOTECNICA**Normative**

LVI 05-10440 en, *Classification of indoor environment*, 2008
 UNI EN 12464, *Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro*, 2004