

***Il progetto
Architettonico***



13. Un nuovo auditorium per Città Studi

13.1 Scelte generali: uno spazio per la collettività

Dall'analisi effettuata sull'area si è riscontrata una forte distinzione tra le zone che la compongono, ciò porta ad una mancanza di mix sociale.

Infatti, in questa zona si possono leggere in maniera chiara tre diverse funzioni prevalenti: l'università, la residenza e gli impianti sportivi.

Inoltre, la mancanza di funzioni di pubblico interesse porta a vivere la zona di Città Studi solo in determinate ore del giorno, lasciando nei giorni festivi il quartiere privo di attrattività.

L'intento progettuale è quello di creare una rete di spazi pubblici di interconnes-

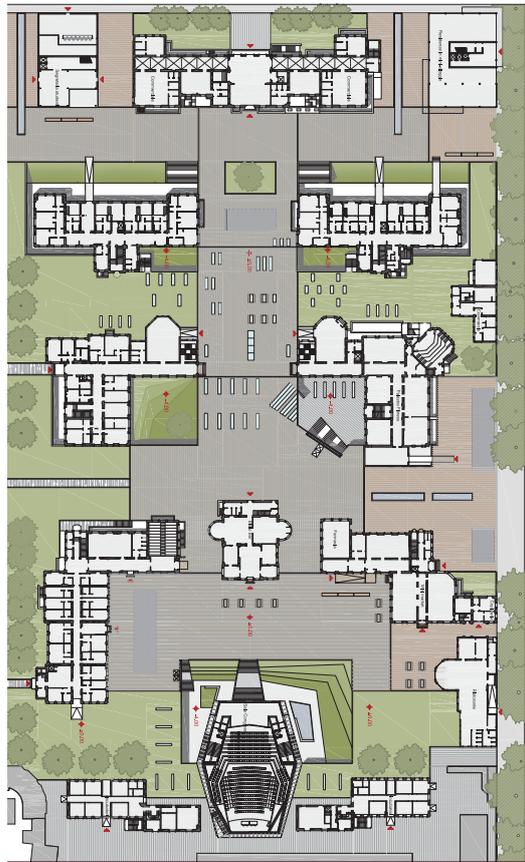


Fig. 13.1. - Pianta piani terra area di progetto.

Cfr. Tav. 079.

sione capaci di mettere in relazione zone con funzioni diverse.

L'introduzione di diverse attività permette la fruizione del quartiere anche da parte di nuove utenze.

Il lotto di progetto attualmente è delimitato da un muro di cinta. Tale muro costituisce un limite fisico che non consente la permeabilità all'interno del lotto.

La volontà progettuale è stata quella di aprire l'area alla città attraverso l'eliminazione del muro, offrendo una serie di funzioni e spazi collettivi che ne aumentino la qualità, ma sempre nel rispetto dell'impianto originario.

Un buon progetto urbano deve essere incentrato sullo spazio pubblico, luogo della compresenza di diverse componenti che nell'insieme costituiscono la città: gli individui, gli edifici, il verde e tutte le relazioni che intercorrono tra loro. Intervenire in aree già costruite e consolidate rende necessario il tentativo di reinterpretare e di migliorare l'intricato sistema di relazioni tra le parti, valorizzando



e ridefinendo l'esistente attraverso le nuove forme di progetto.

Il progetto prevede la rifunzionalizzazione e il recupero degli edifici esistenti attraverso l'insediamento di una residenza per studenti, il collocamento degli incubatori d'impresa come tramite tra università e lavoro, spazi commerciali, e una nuova centralità pubblica a servizio del quartiere quale l'auditorium.

Il lavoro di tesi si è focalizzato sulla progettazione del nuovo centro congressi, approfondendo oltre agli aspetti architettonici, le componenti strutturali, tecnologiche, acustiche e impiantistiche.

13.2 Avvicinamento al progetto

Attualmente nel limite Sud del lotto è presente una piccola sala congressi costruita tra gli anni Sessanta e Settanta. Essa si pone come superfetazione incongruente con l'impianto originale, compromettendo l'ambiente circostante.

Si è perciò deciso di demolire tale edificio, che non risulta vincolato dalla Soprintendenza.

La volontà è stata quella di realizzare un nuovo edificio che faccia da quinta prospettica per l'intero lotto.

L'auditorium è ben riconoscibile dagli edifici esistenti per forma e materiali.

Tuttavia, così come gli edifici esistenti si sviluppano con un sistema a padiglione, anche l'auditorium risulta indipendente ed isolato rispetto agli stessi, andando a sottolineare l'importanza dell'intero sistema.

Per mitigare il contrasto tra il volume dell'edificio e i volumi degli edifici esistenti si è scelto di sviluppare parte della sala in ipogeo. La forma stessa dell'edificio invita il pubblico ad andare verso il piano ipogeo dove si sviluppano il foyer, il bar e la sala espositiva.

Per consentire l'ingresso ad una quota di -4,00m, la galleria dell'auditorium si sviluppa in aggetto sulla piazza ipogea.

L'involucro esterno è stato progettato tenendo conto della morfologia degli edifici antistanti che sono costituiti da tetti a falda e riprende il cromatismo degli stessi utilizzando però un materiale diverso quale il rame.

Riferimenti progettuali:

Si riportano i tre principali casi studio che sono stati analizzati e presi in considerazione per la definizione del progetto dell'auditorium.

Ogni riferimento è stato scelto in base alle sue peculiarità e caratteristiche. In particolare vengono presentati tre auditoria:

- il Festival hall of tiroler festspiele erl è stato preso in considerazione per la geometria delle falde, il volume slanciato e il rivestimento di facciata utilizzato;

- il Philharmonie di Berlino è stato un esempio per studiare la complessità interna della sala con le sue disarticolazioni e i materiali utilizzati internamente;

- L'Agora Theatre and congress centre è stato studiato per la geometria del volume, il rapporto tra pieni e vuoti, l'apertura della grande vetrata e l'organizzazione della sala interna.

Di seguito si riportano le tre schede che riassumono i casi studio.

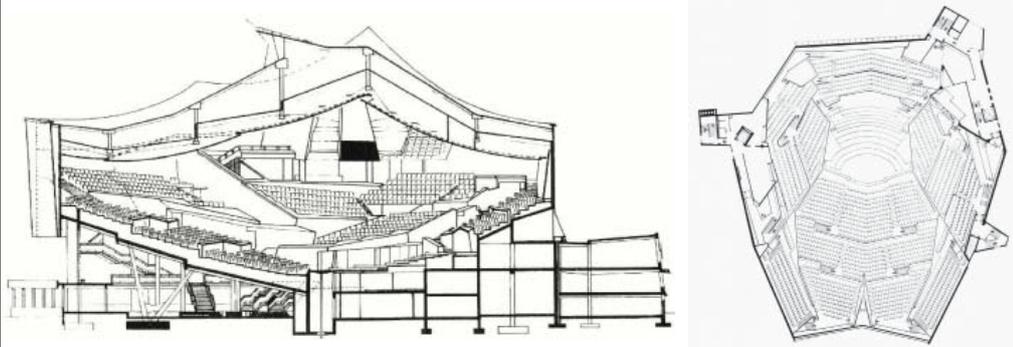


Scheda 1:
Festival hall of tiroler
festspiele Erl.

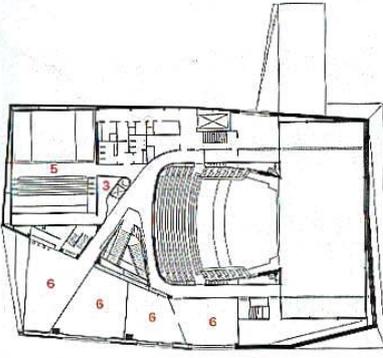
SCHEDE DEI RIFERIMENTI PROGETTUALI		RIF. 01
DATI GENERALI		SPECIFICHE DEL PROGETTO
Oggetto: Festival hall of tiroler festspiele Erl	N. di posti: 732 + 130 temporanei	
Progettista/Studio: DMAA	Materiale rivestimento: alluminio	
Luogo: Muhlgraben Tyrol	Volume: 60.000 m ³	
Data di costruzione: 2005	Superficie: 580 m ²	
DESCRIZIONE PROGETTO		
<p>L'auditorium si sviluppa a ridosso di un pendio, per questo motivo la geometria è fortemente influenzata dal contesto. I progettisti hanno focalizzato l'attenzione su due aspetti: l'interazione tra l'interno e la natura circostante e la miglior composizione spaziale della sala. E' costituito da zone di comunicazione, che restringendosi e ampliandosi determinano la planimetria dell'edificio. L'ingresso alla sala da concerto è sottolineato dal lieve innalzamento del livello di entrata. L'auditorium, che si trova al centro dell'edificio come una conchiglia, è ancorato alla roccia in fondo ed è collegato al foyer attraverso due accessi ad ogni livello. Il passaggio dal foyer alla sala è caratterizzato da una trasformazione spaziale e atmosferica.</p> <p>E' stato preso come riferimento per la progettazione dell'auditorium per la forma del guscio esterno slanciata che si integra con il contesto e l'uso del materiale di rivestimento esterno.</p>		
IMMAGINI ILLUSTRATIVE		



Scheda 2:
Philharmonie,
Berlino.

SCHEDA DEI RIFERIMENTI PROGETTUALI		RIF. 02
DATI GENERALI		SPECIFICHE DEL PROGETTO
Oggetto: Philharmonie	Progettista/Studio: Hans Scharoun	N. di posti: 2200
Luogo: Berlino	Data di costruzione: 1960-1963	Materiale rivestimento: zinco
DESCRIZIONE PROGETTO		
<p>La struttura ha una forma pentagonale che viene mantenuta anche all'interno. Il podio dell'orchestra occupa la sezione centrale della sala pentagonale. Attorno si sviluppano le gallerie per il pubblico, progettate in modo tale da confondersi con la prospettiva dei cinque angoli della sala. La disposizione dei posti a sedere offre delle posizioni eccellenti per la vista sul palcoscenico grazie ad un aumento irregolare nell'altezza delle sedute.</p> <p>Eccellente l'acustica, la quale consente di udire in modo ottimale i suoni quasi in egual modo da ogni posto.</p> <p>E' stato preso come riferimento per la progettazione dell'auditorium per la complessità e articolazione interna della sala. E' stato ripreso il principio di aumentare l'altezza delle sedute al fine di avere una migliore visuale del palcoscenico.</p>		
IMMAGINI ILLUSTRATIVE		
		
		



SCHEDE DEI RIFERIMENTI PROGETTUALI		RIF. 03
DATI GENERALI		SPECIFICHE DEL PROGETTO
Oggetto: Agora Theatre and congress centre	Progettista/Studio: Un Studio	N. di posti: 1800
Luogo: Lelystad	Data di costruzione: 2002-2007	Materiale rivestimento: alluminio
		Volume: 36000 m ³
		Superficie: 350 m ²
DESCRIZIONE PROGETTO		
<p>L'auditorium è costituito da un volume di differenti tonalità di arancione in modo da aumentare l'effetto della rifrazione della luce, le aperture sono misteriosamente velate da uno strato di lamiera microforata. Il foyer è concepito come uno spazio dinamico che si assottiglia verso l'alto dove si conclude con un lucernario centrale. Le diverse qualità spaziali sono accentuate da colori vivaci: il foyer di colore rosa mentre la sala interna di un rosso intenso. I pannelli del soffitto sono stati ottimizzati in modo tale da garantire una qualità del suono ottimale in ogni posto.</p> <p>E' stato preso come riferimento per la progettazione dell'auditorium per la geometria del volume, il rapporto tra pieni e vuoti, l'apertura della grande vetrata e la modellazione interna della sala.</p>		
IMMAGINI ILLUSTRATIVE		
		
		

Scheda 3:
Agora Theatre and
congress centre.



13.3 Layout distributivo di progetto

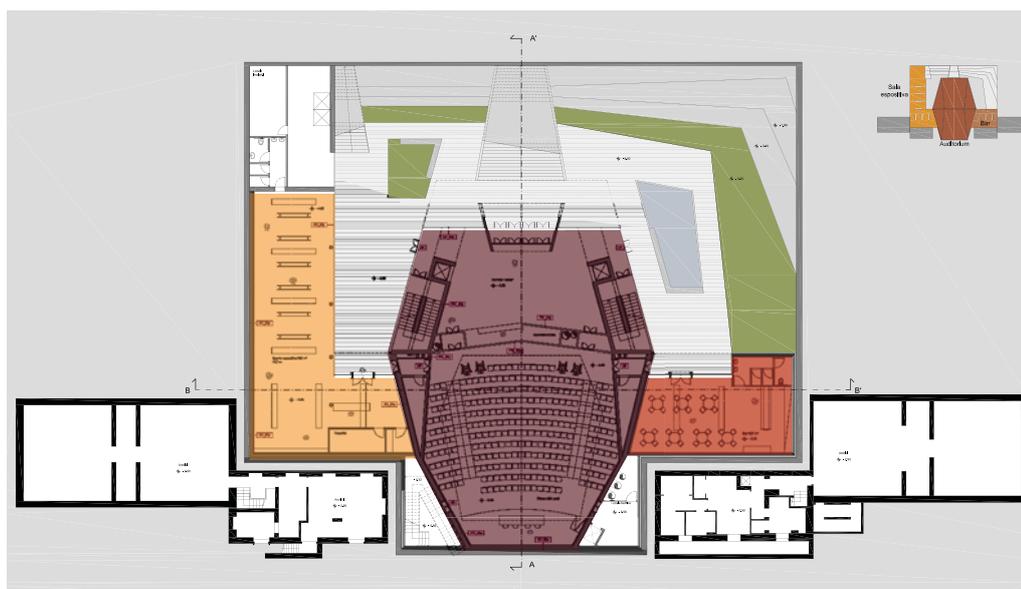
L'auditorium si sviluppa su due livelli a quote differenti, il foyer d'ingresso si trova alla quota di -4,00 m rispetto al piano campagna.

Lo spazio antistante all'auditorium è stato progettato in modo da creare un invito verso la piazza ipogea, dove oltre ad essere posizionato l'ingresso, vi sono il bar e la sala espositiva.

Questo spazio aperto ricopre una duplice funzione: quella di accogliere gli spettatori in occasione delle conferenze, ma anche quello di essere uno spazio di aggregazione per la collettività.

Fig. 13.2. - Pianta primo livello interrato - 4,00 m, auditorium, sala espositiva e bar.

Cfr. Tav. 083.



Sui lati dello spazio ipogeo si sviluppa a Ovest la sala espositiva, a Sud il bar e al centro di essi la sala conferenze.

Invece, sui lati Nord ed Est si sviluppano delle gradonate verdi che collegano il piano campagna alla quota -4,00 m, questo permette di non creare un limite netto tra i due livelli, ma lasciare permeabilità fisica e visiva dello spazio.

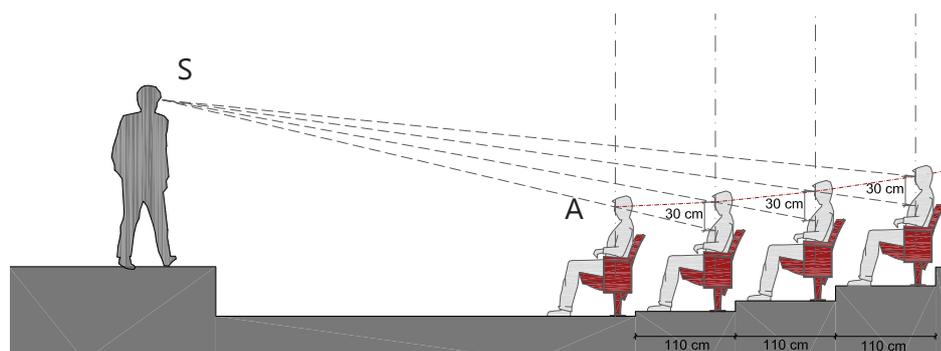
L'ingresso al foyer avviene attraverso un volume di rame. Esso rompe la continuità della vetrata che si sviluppa lungo tutto il perimetro del foyer.

La sala conferenze si compone di due parti: la platea e la galleria.

Alla platea si accede direttamente dal foyer del piano interrato, ed è costituita da 266 posti a sedere, distribuiti su 12 file gradonate.

Fig. 13.3. - Costruzione curva di visibilità platea.

Cfr. Tav. 101





Per garantire una visibilità ottimale le gradonate si sviluppano seguendo una curva di visibilità opportunamente studiata.

Essa è stata determinata congiungendo la fonte sonora S situata sul palco con la testa del primo spettatore A. Poi si è proceduto prolungando la retta fino alla seconda fila di spettatori. Si è presa poi una distanza sulla verticale pari a 30 cm dove collocare la testa dello spettatore B, in modo tale da non avere interferenze visive. Si è continuato poi così per la determinazione di tutte le altre file.

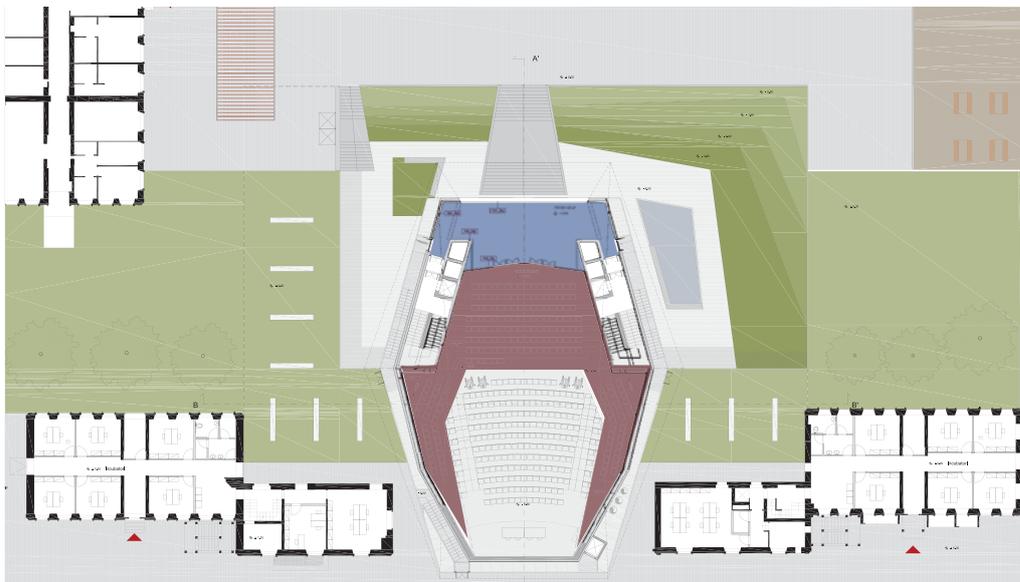


Fig. 13.4. - Pianta piano terra, auditorium.

Cfr. Tav. 082.

Alla galleria si accede dai due vani scale posti ai lati della sala, dove si giunge ad secondo foyer alla quota di 3,30 m.

La galleria si compone di 8 file e due ali laterali di 3 file ciascuna, per una capienza totale di 204 posti.

L'intera sala conferenza, compresa di galleria e platea, può ospitare 470 persone. L'interno della sala è stato progettato in base alla destinazione d'uso: sala per la prosa. Infatti, l'intradosso della copertura è stato opportunamente sagomato in base ad analisi acustiche.

Il rivestimento interno è in doghe di legno disposte orizzontalmente e sovrapposte tra di loro, in modo da creare giochi di ombre.

Le pareti di fondo sono realizzate in pannelli fonoassorbenti in legno, per contrastare la diffusione del suono.

Il foyer del secondo livello, non vuole assolvere la sola funzione di spazio distributivo ma essere l'occasione per avere una nuova visuale sullo spazio interno del lotto offrendo così una pluralità di scorci. Per questo motivo è stata progettata una grande vetrata orientata a Nord.

All'interno della gradonata si sono integrate tutte le canalizzazioni del sistema impiantistico del foyer e della galleria, oltre al sistema strutturale di travi reticolari che la reggono. E' stata posta attenzione a posizionare le mandate del sistema di climatizzazione in corrispondenza delle sedute, mentre le riprese sono state collocate in copertura in modo da creare un ricircolo ottimale dell'aria interna alla sala.

Al secondo piano interrato ad una quota di -7,20 m sono collocati i locali impianti e i servizi igienici raggiungibili con i due vani scala a lato della sala e i relativi ascensori.



IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Fig. 13.5. - Sezione longitudinale AA', auditorium.

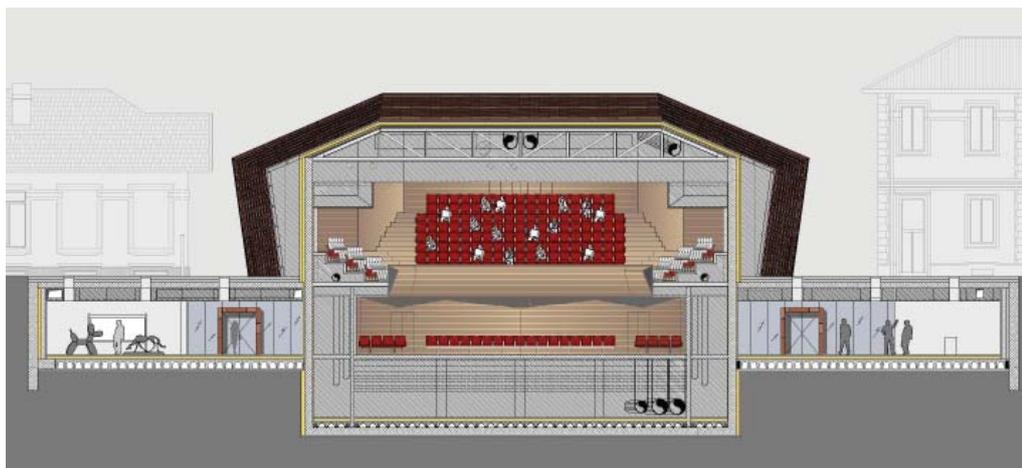
Cfr. Tav. 090.



La copertura è stata sagomata in modo tale da richiamare anche il profilo delle falde dei tetti esistenti. Infatti, il sistema strutturale della copertura è costituito da travi reticolari in acciaio opportunamente sagomate in modo tale da assecondare la geometria complessa della copertura.

Fig. 13.6. - Sezione trasversale BB', auditorium.

Cfr. Tav. 091.



Ai lati dell'auditorium sono state create due pareti con rivestimento di rame che svolgono la funzione di quinte. Inoltre, esse mitigano il rapporto tra il volume della sala conferenze e le forme più regolari degli edifici antistanti.

L'auditorium è stato modellato in modo da essere percepito come un volume unico. Il rivestimento continuo in doghe di rame contibuisce anch'esso a conferire all'auditorium un'immagine unitaria. Questo infatti si interrompe solo sulla vetrata a Nord creando uno scorcio inedito sull'isolato e in corrispondenza del basamento costituito da una vetrata continua.

L'utilizzo del vetro nel punto di contatto tra l'edificio e il suolo sottolinea con forza la forma scolpita dell'auditorium. In questo modo, il volume risulta essere totalmente in aggetto sullo spazio ipogeo andando a definire l'auditorium come un frammento incastonato nel terreno e creando una forma affusolata e slanciata.

Il rivestimento esterno è costituito da doghe di rame ossidato.

La scelta del rame permette di creare un rivestimento uniforme su tutto il volume dell'edificio.

Le doghe variano tra di loro in larghezza (20 cm, 33 cm o 40 cm) e in lunghezza (1,00 m, 2,00 m o 4,00 m). L'alternanza di tre diverse larghezze rende possibile la



Fig. 13.7. - Prospetto Nord, auditorium.

Cfr. Tav. 087.

creazione di un rivestimento continuo ma dinamico, in cui non si ha una ripetizione seriale dei moduli. Inoltre, l'alternanza di due tonalità di colore crea ancor più dinamismo nelle facciate e nelle falde.

Infine, il rame riprende il cromatismo degli edifici esistenti, andando così a mitigare il contrasto tra il nuovo edificio e il contesto.

Anche il prospetto della sala espositiva che si trova al piano ipogeo è costituito da pannelli fissi in rame che vanno ad integrarsi con il corrimano superiore in vetro.

La sala espositiva e il bar essendo ad una quota di -4,00 metri, sono illuminati zenitalmente da una serie di lucernari.

Tutte queste considerazioni hanno portato alla realizzazione del progetto come illustrato.



Fig. 13.8. - Prospetto Est, auditorium.

Cfr. Tav. 088.



Fig. 13.9. - Prospetto Sala espositiva, auditorium.

Cfr. Tav. 089.



13.4. Verifiche di progetto

In fase di progettazione è necessario stabilire a priori quali sono i vincoli a cui attenersi per il rispetto delle Normative. Le verifiche di progetto sono un passaggio obbligato per ottenere le approvazioni necessarie per la costruzione dell'edificio.

Le verifiche effettuate sono:

- antincendio: congruità in rapporto allo standard normativo di prevenzione/protezione in caso d'incendio.
- criteri di accessibilità, visitabilità e adattabilità: rispetto del grado minimo necessario di fruibilità da parte delle persone con difficoltà motorie o handicap.

13.4.1. Verifica antincendio

Le verifiche sono state eseguite in base al D.M. 19 agosto 1996 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo".

Obiettivi di sicurezza

Ai fini della prevenzione degli incendi ed allo scopo di raggiungere i primari obiettivi di sicurezza relativi alla salvaguardia delle persone e alla tutela dei beni, i locali di trattenimento e di pubblico spettacolo devono essere realizzati e gestiti in modo da:

- a) minimizzare le cause di incendio;
- b) garantire la stabilità delle strutture portanti al fine di assicurare il soccorso agli occupanti;
- c) limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno del locale;
- d) limitare la propagazione di un incendio ad edifici e/o locali contigui;
- e) assicurare la possibilità che gli occupanti lascino il locale indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- f) garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Classificazione edificio

L'edificio di studio è classificato e definito dalla Normativa:

- classe d: auditori e sale conferenze cioè locali destinati a concerti, conferenze, congressi e simili.

Resistenza al fuoco

I requisiti di resistenza al fuoco degli elementi strutturali vanno valutati secondo le prescrizioni e le modalità di prova stabilite dalla circolare del Ministero dell'interno n. 91 del 14 settembre 1961. Le strutture portanti e quelle divisorie dei locali devono possedere le seguenti caratteristiche di resistenza al fuoco (REI):

ALTEZZA ANTINCENDIO DELL'EDIFICIO	REI
Fino a 12 m	60
Superiore a 12 m e fino a 24 m	90
Superiore a 24 m	90



Successivamente verranno verificati uno ad uno i requisiti antincendio prescritti dalla Normativa.

Distribuzione posti a sedere

- I posti a sedere possono essere distribuiti in settori di 300 posti con un massimo di 20 posti per fila e di massimo 15 file¹.
- I settori devono essere separati l'un l'altro mediante passaggi longitudinali e trasversali di larghezza non inferiore a 1,20 m.
- Sono consentiti fino ad un massimo di 4 posti accostati alle pareti laterali della sala.
- In galleria, tra la balaustra e la prima fila antistante di posti, deve essere lasciato un passaggio di larghezza non inferiore a 0,6 m, misurato a sedile abbassato.

VERIFICATO

Affollamento

L'affollamento massimo consentito per l'edificio in esame è pari al numero di posti a sedere, compresi quelli previsti per le persone con ridotte o impedito capacità motorie.

Pertanto l'affollamento massimo risulta pari a 470 persone (264 in platea e 206 in galleria).

Capacità di deflusso

La capacità di deflusso per i locali al chiuso non deve essere superiore a 37,5 per i locali con pavimento a quota compresa tra più o meno 7,5 m rispetto al piano di riferimento.

Vie d'uscita

L'edificio deve essere provvisto di un sistema organizzato di vie di uscita dimensionato in base al massimo affollamento previsto ed alle capacità di deflusso sopra stabilite, che, attraverso percorsi indipendenti, adduca in luogo sicuro all'esterno².

- L'altezza dei percorsi deve essere, in ogni caso, non inferiore a 2 m.
- La larghezza utile dei percorsi deve essere misurata deducendo l'ingombro di eventuali elementi sporgenti con esclusione degli estintori e non inferiore a 1,20 m. Tra gli elementi sporgenti non vanno considerati quelli posti ad un'altezza superiore a 2 m ed i corrimano con sporgenza non superiore ad 8 cm.
- Nei passaggi interni alla sala, qualora sia necessario realizzare gradini per superare dislivelli, gli stessi debbono avere pedate ed alzate di dimensioni rispettivamente non inferiori a 30 cm (pedata) e non superiori a 18 cm (alzata), ed essere segnalati con appositi dispositivi luminosi.
- Il numero delle uscite, che dalla sala adducano in un luogo sicuro all'esterno, deve non essere inferiore a tre. Nella determinazione del numero delle uscite possono essere computati i vani di ingresso purché dotati di porte apribili nel verso dell'esodo.

VERIFICATO

Calcolo della larghezza totale delle vie d'uscita

La larghezza di ogni singola via di uscita deve essere multipla del modulo singolo di 0,60 m e in ogni caso non inferiore a due moduli (1,20 m).

¹ Nel caso in cui la distanza tra gli schienali delle file è almeno 1,10 m.

² I percorsi del sistema di vie di uscita comprendono corridoi, vani di accesso alle scale e di uscita all'esterno, scale, rampe e passaggi in genere.

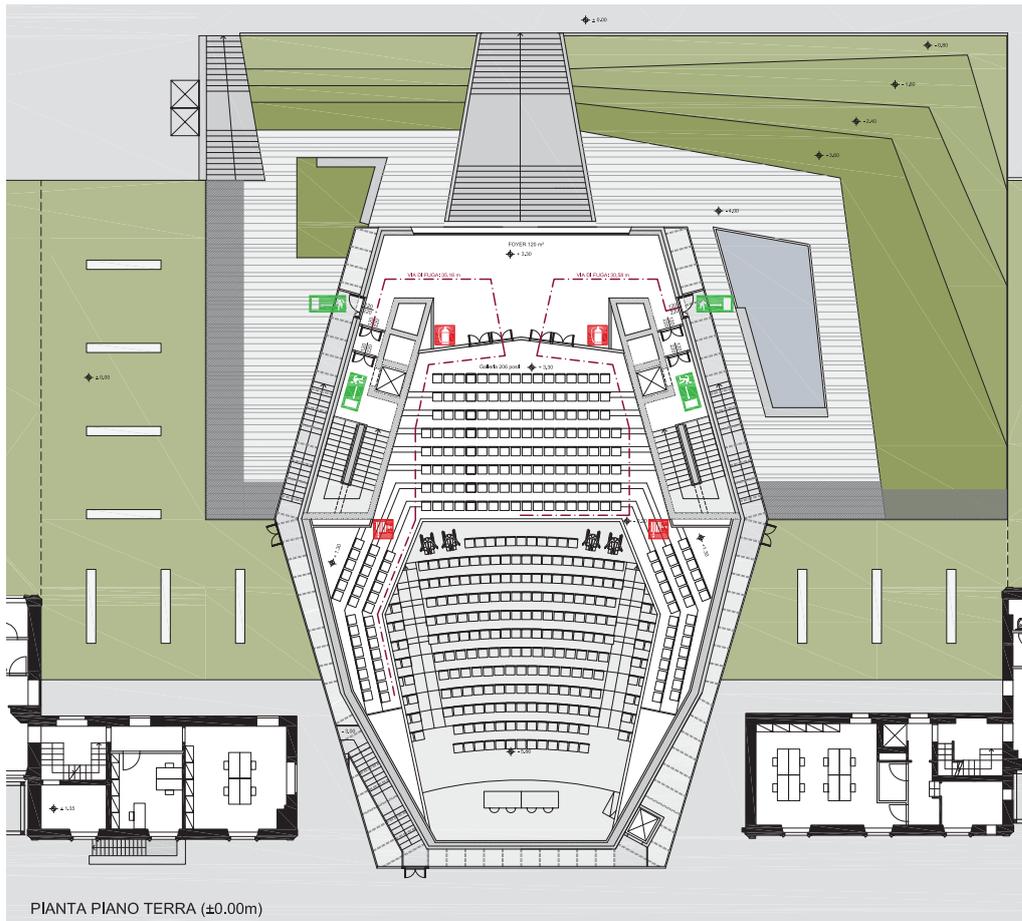


Fig. 13.11. - Verifiche prevenzione incendi, piano terra (± 0.00 m)

Cfr. Tav. 092.

Legenda:

- - - Percorso di uscita orizzontale
- USCITA DI EMERGENZA
- ESTINTORE PORTATILE
- NASPO DN 20

Estintori

- Tutti i locali devono essere dotati di un adeguato numero di estintori portatili.
- Gli estintori devono essere distribuiti in modo uniforme nell'area da proteggere, è comunque necessario che almeno alcuni si trovino:
 - in prossimità degli accessi;
 - in vicinanza di aree di maggior pericolo
- Gli estintori portatili devono essere installati in ragione di uno ogni 200 m² di pavimento, o frazione, con un minimo di due estintori per piano.

VERIFICATO

Naspi

Nell'edificio in esame è obbligatoria l'installazione di almeno naspi DN 20 in quanto la capienza è superiore a 300 persone ma inferiore a 600.

- Ogni naspo deve essere corredato da una tubazione semirigida lunga 20 m, realizzata a regola d'arte.
- Il numero e la posizione dei naspi è vincolata al raggiungimento, con il getto, di ogni punto dell'area protetta.
- L'alimentazione deve assicurare un'autonomia non inferiore a 60 minuti.

VERIFICATO



13.4.2. Verifica del requisito di accessibilità

La normativa di riferimento per il controllo e la verifica del requisito di accessibilità degli edifici di progetto è rappresentata dalle seguenti norme:

- D.P.R. 24 luglio 1996, n.503 - *Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici*;
- D.M. 14 giugno 1989, n.236 - *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*.

Con il termine di barriera architettonica⁴ si intende:

- a) ostacolo fisico che è fonte di disagio per la mobilità di chiunque ed in particolare di coloro che, per qualsiasi causa, hanno una capacità motoria ridotta o impedita in forma permanente o temporanea;
- b) gli ostacoli che limitano o impediscono a chiunque la comoda e sicura utilizzazione di parti, attrezzature o componenti;
- c) la mancanza di accorgimenti e segnalazioni che permettono l'orientamento e la riconoscibilità dei luoghi e delle fonti di pericolo per chiunque e in particolare per i non vedenti, per gli ipovedenti e per i non udenti.

La verifica consiste nel garantire i criteri di *accessibilità, visitabilità e adattabilità*⁵. L'accessibilità consente la totale fruizione nell'immediato e per questo motivo esprime il più alto livello. La visitabilità rappresenta un livello di accessibilità limitato ad una parte più o meno estesa dell'edificio. L'adattabilità rappresenta un livello ridotto di qualità, in quanto si intende la possibilità di modificare nel tempo lo spazio costruito a costi limitati, allo scopo di renderlo completamente agevole e fruibile.

L'auditorium è stato progettato con l'intento di garantire il criterio di accessibilità, seguendo i principali requisiti richiesti da Normativa.

Come si vede nell'immagine della pianta P-1, gli spazi esterni di pertinenza all'edificio risultano essere totalmente accessibili. Non esistono, infatti, ostacoli materiali alla circolazione nel piano orizzontale, mentre il dislivello per raggiungere la quota di -4,00 m, per l'ingresso all'auditorium, è superato tramite l'utilizzo di ascensori ben visibili.

Il criterio di accessibilità è stato garantito, oltre che per l'auditorium, anche per le sue parti annesse: sala espositiva e bar.

Si riportano per punti i requisiti normativi da rispettare.

Porte

- La luce delle porte deve essere di minimo 90 cm e l'altezza delle maniglie compresa tra 85 e 95 cm (consigliata 90 cm).

VERIFICATO

Servizi igienici

- Lo spazio necessario all'accostamento e al trasferimento laterale dalla sedia a ruote alla tazza deve essere minimo di 100 cm.
- Lo spazio necessario all'accostamento frontale della sedia a ruote al lavabo deve essere minimo di 80 cm misurati dal bordo anteriore del lavabo.

VERIFICATO

⁴ Art. 2 D.M. 14/06/1989, n. 236.

⁵ Ibidem.

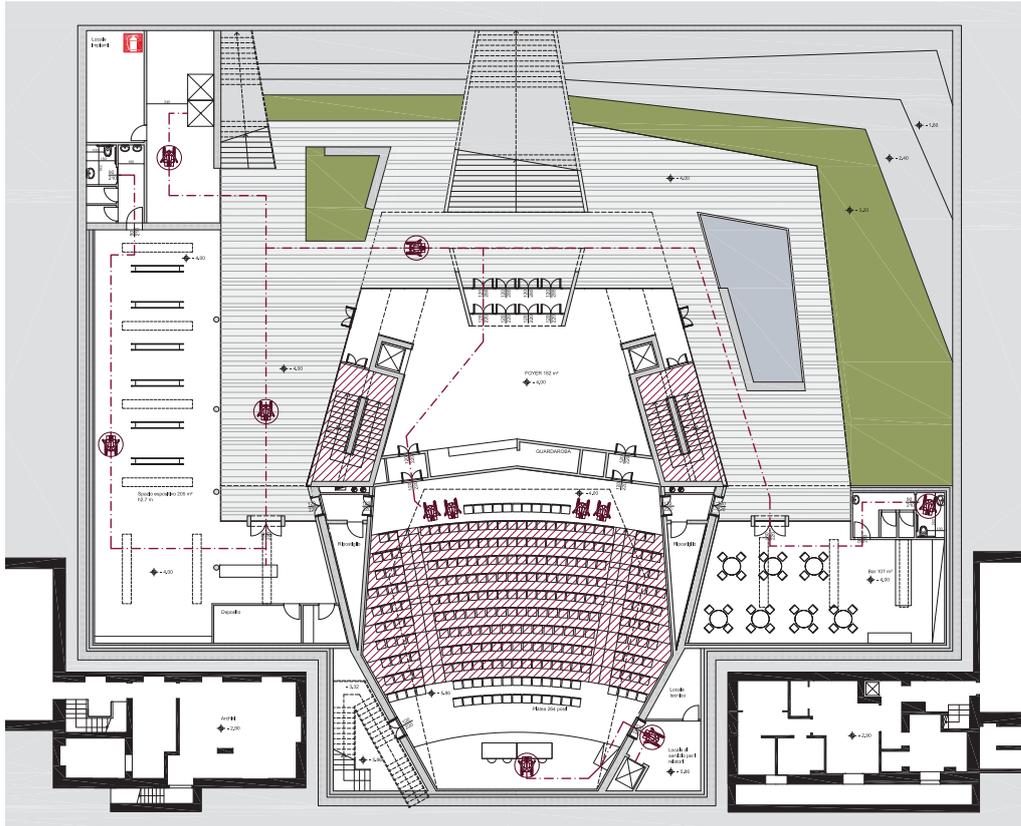


Fig. 13.12. - Verifica accessibilità piano -1 (-4.00 m)

Cfr. Tav. 093.

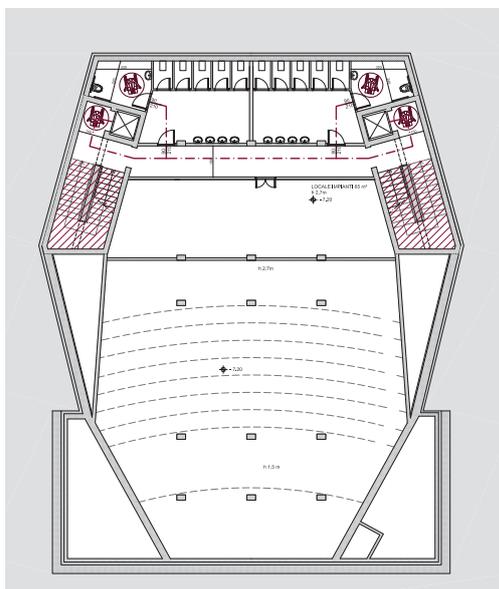


Fig. 13.13. - Verifica accessibilità piano -2 (-7.20 m)

Cfr. Tav. 093.

I servizi igienici dell'auditorium sono posti nel piano -2 e raggiungibili tramite l'utilizzo di un apposito ascensore. Sono rispettosi della Normativa in quanto garantiscono le manovre necessarie per l'utilizzazione dei sanitari da parte di una sedia a ruote e i punti sopra elencati. Anche per quanto riguarda la sala espositiva e il bar sono previsti bagni per disabili conformi alla Normativa e totalmente accessibili.



IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Corridoi

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

VERIFICATO

La larghezza dei corridoi nell'auditorium non è mai inferiore a 1,50 m.

Scale

- Altezza porta non inferiore a 2 m.
- Larghezza minima 120 cm con pedata di 30 cm.

VERIFICATO

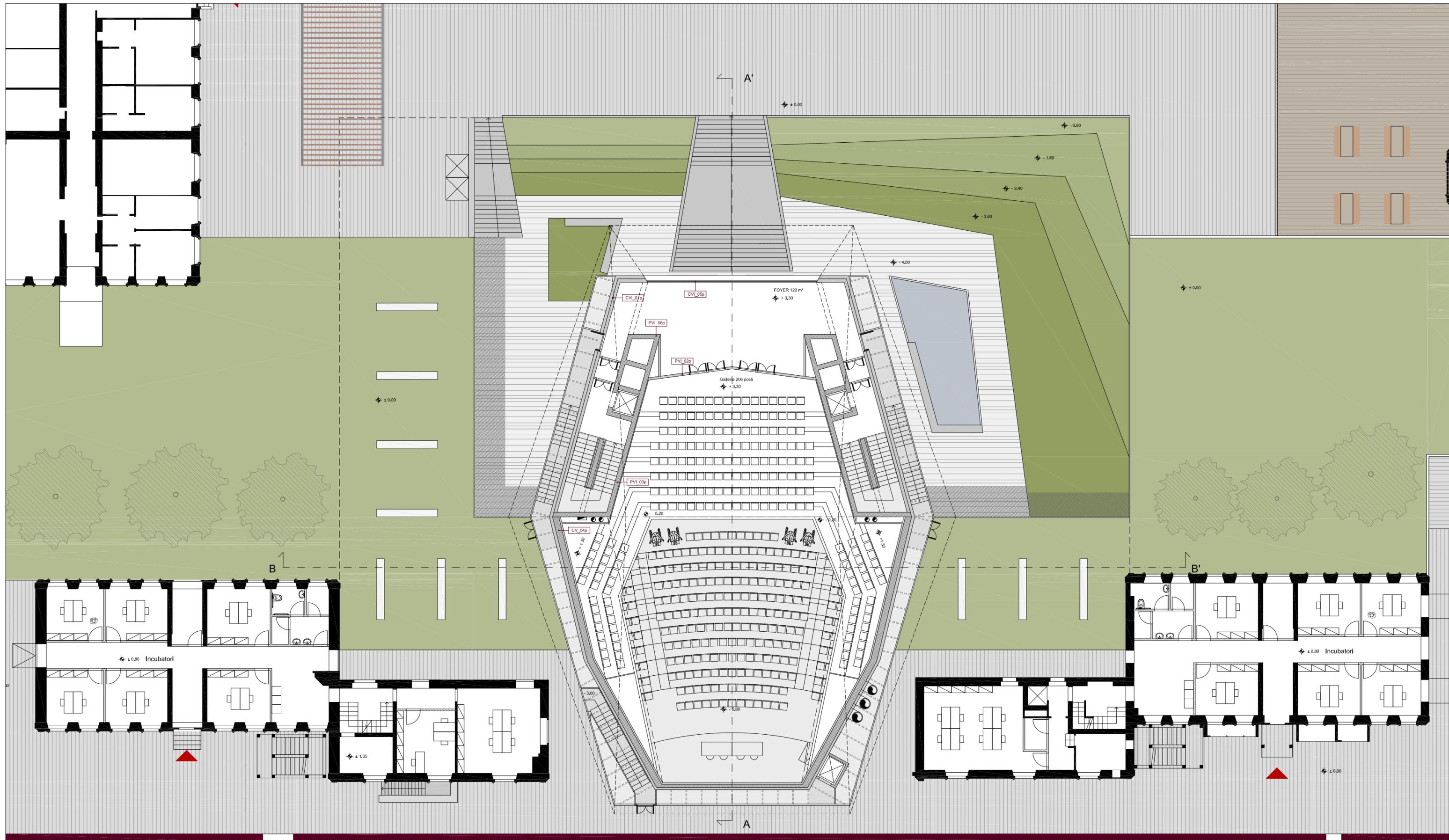
Ascensori

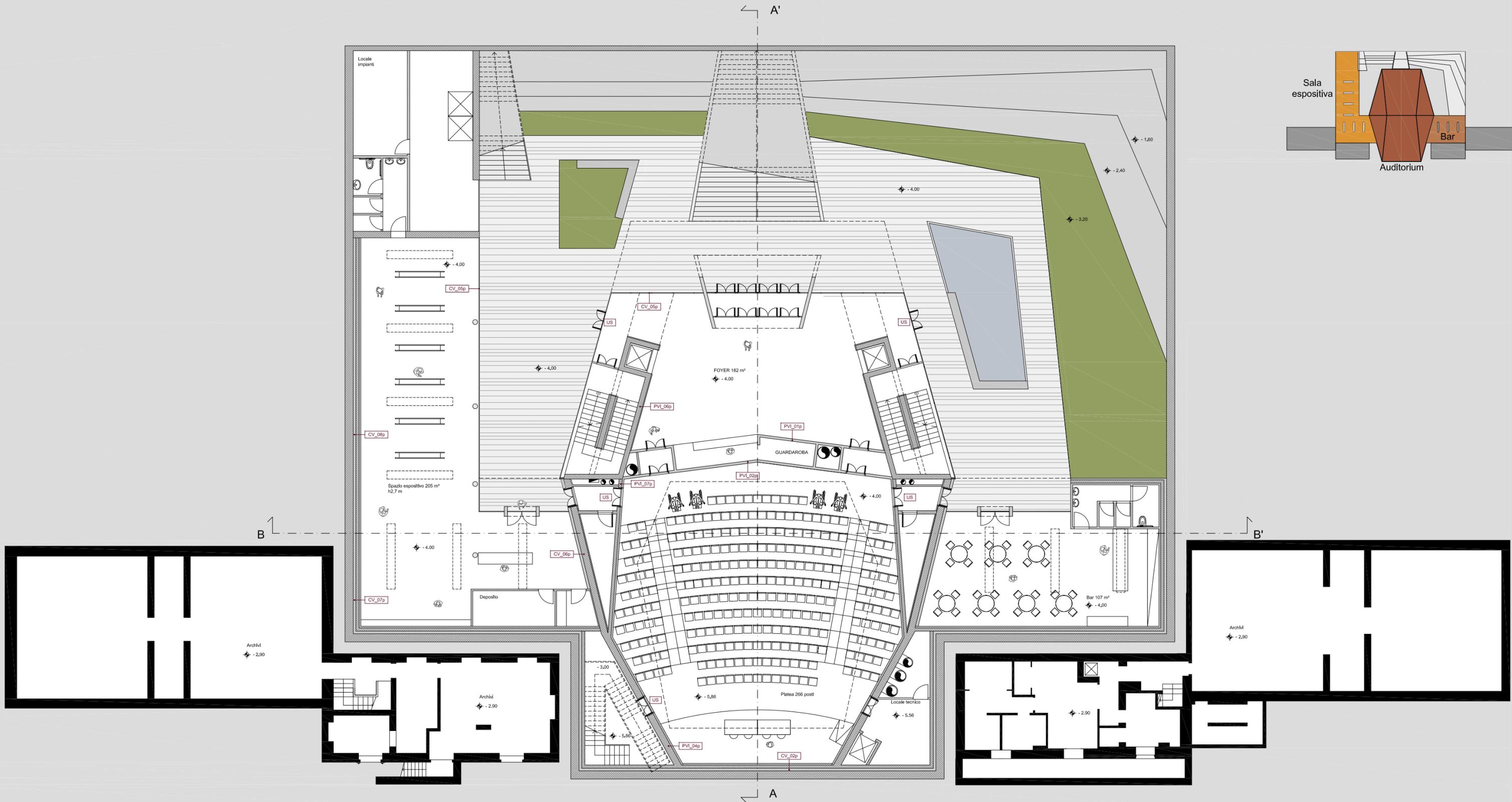
Negli edifici di nuova edificazione, non residenziali, l'ascensore deve avere le seguenti caratteristiche:

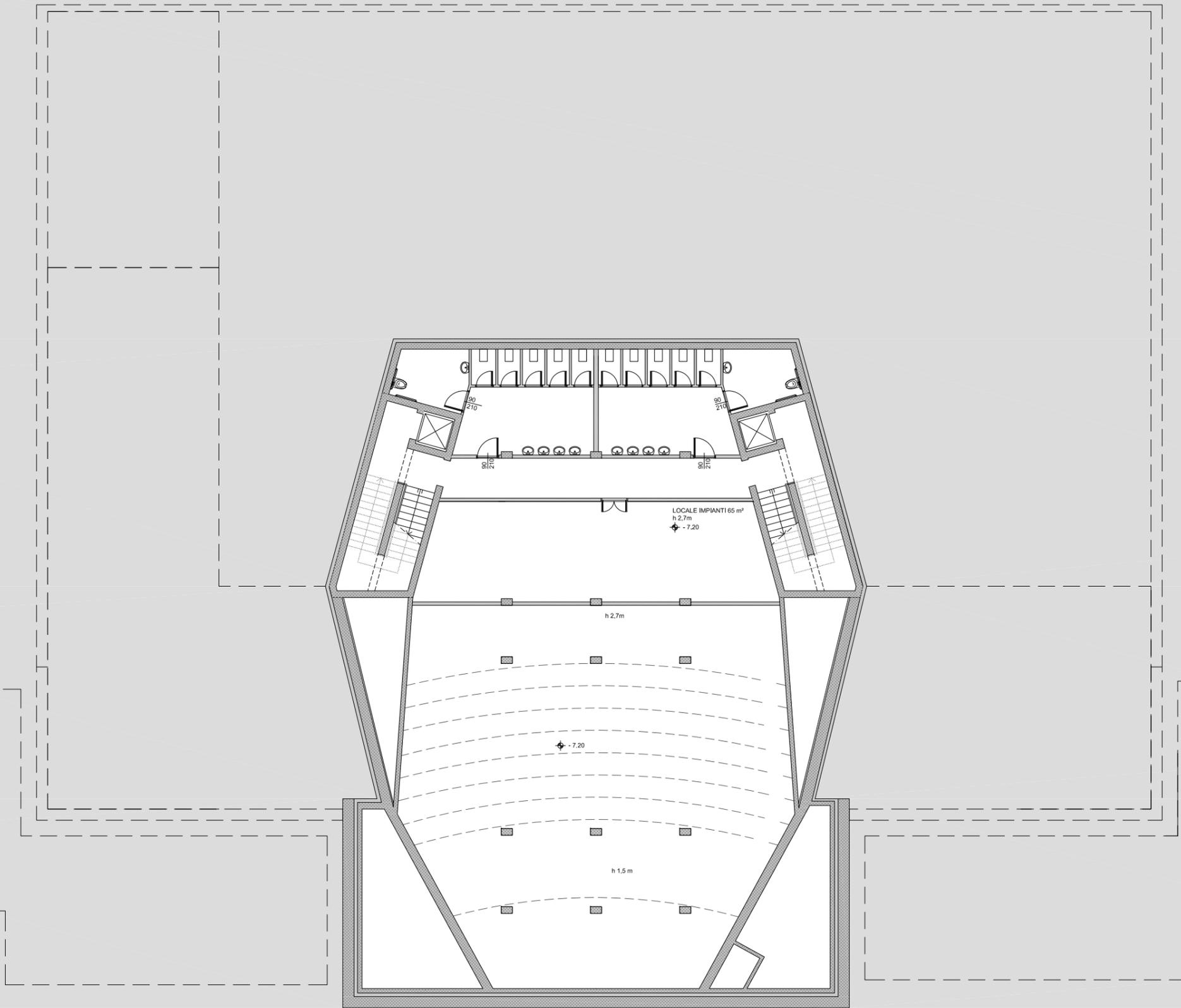
- cabina di dimensioni minime di 1,30 m di profondità e 1,10 m di larghezza;
- porta con luce minima di 0,80 m posta sul lato corto;
- piattaforma minima di distribuzione anteriormente alla porta della cabina di 1,50 x 1,50 m.

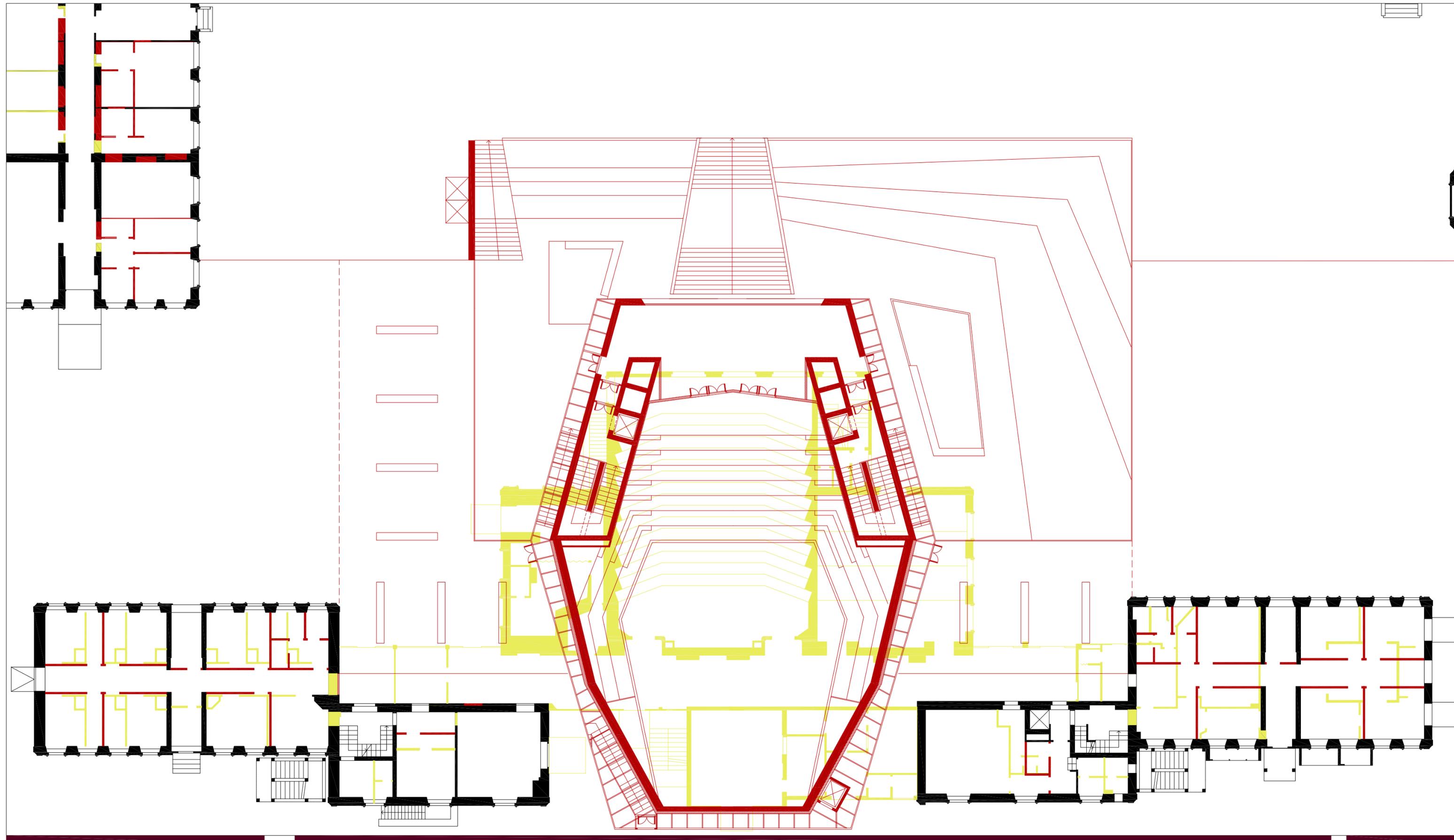
VERIFICATO

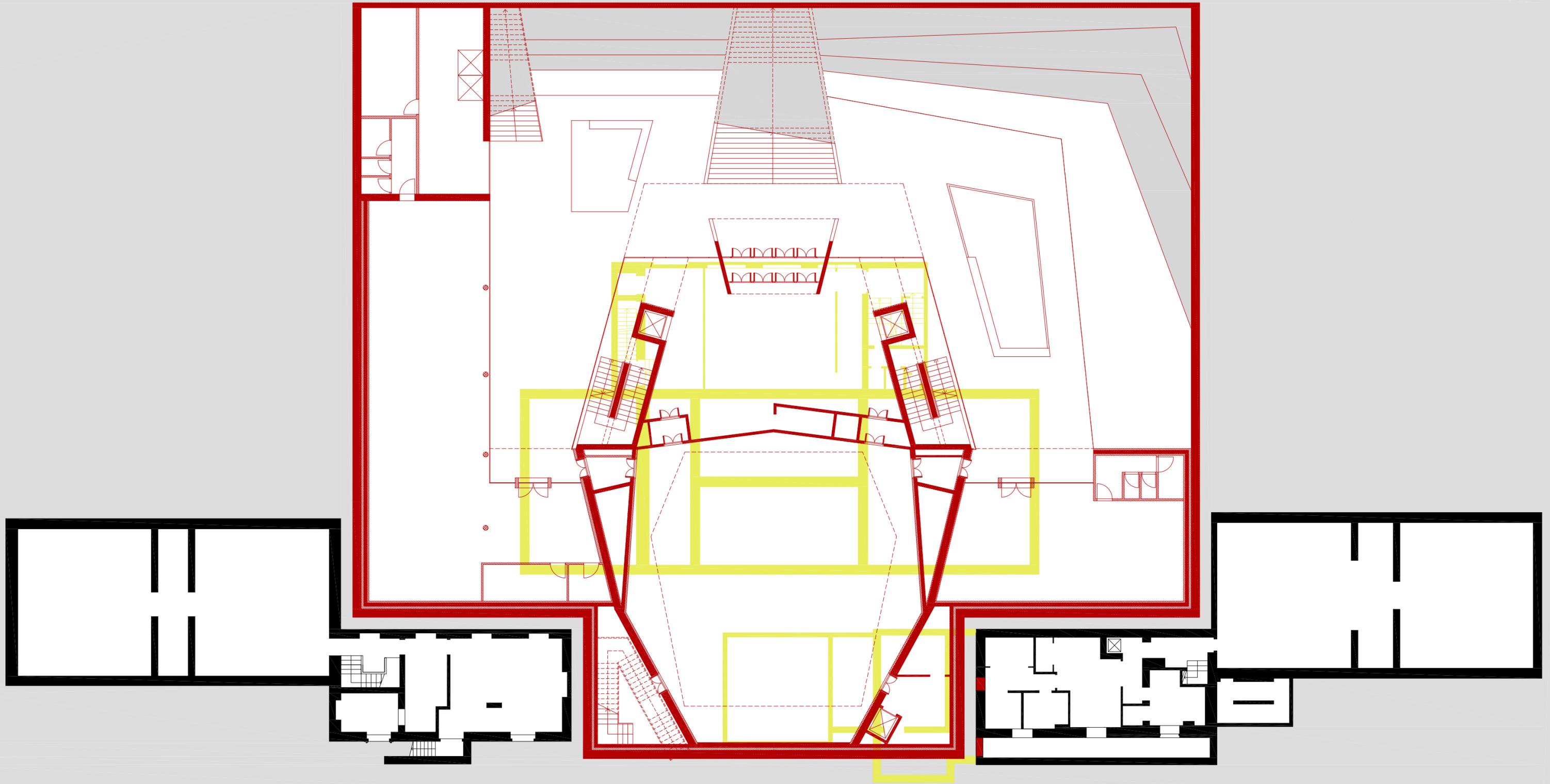
Particolare attenzione è stata riservata ai relatori disabili, in quanto non essendo stato possibile posizionare delle rampe all'interno della sala (dislivello di 1,86 m), si è prevista l'installazione di un ascensore dedicato. Si accede direttamente dal piano terra (quota 0,00m) e si arriva alla quota di -5,86 m dove è ubicato il palco. Questo ascensore è ad uso esclusivo di relatori disabili e per sola necessità.







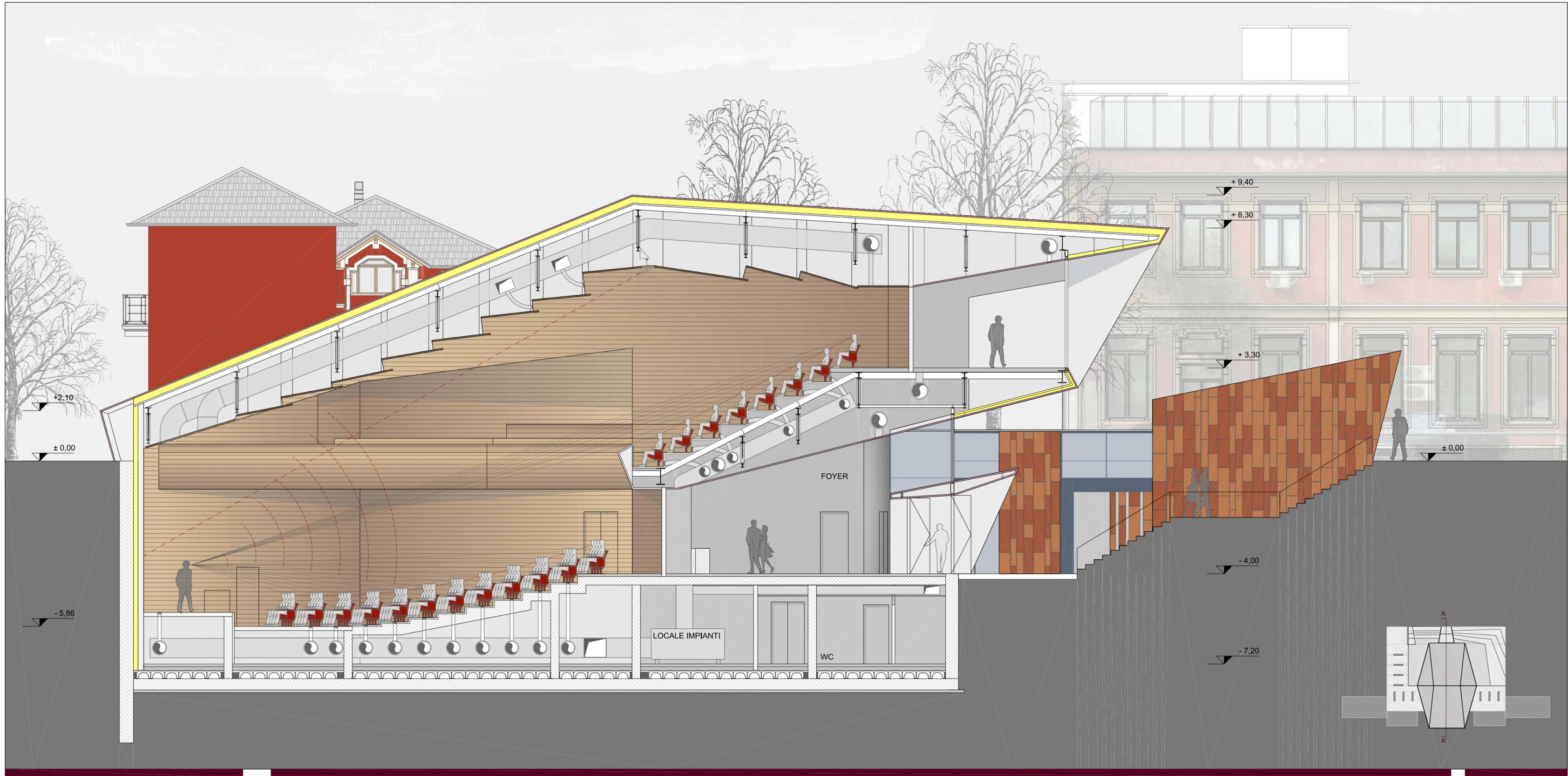




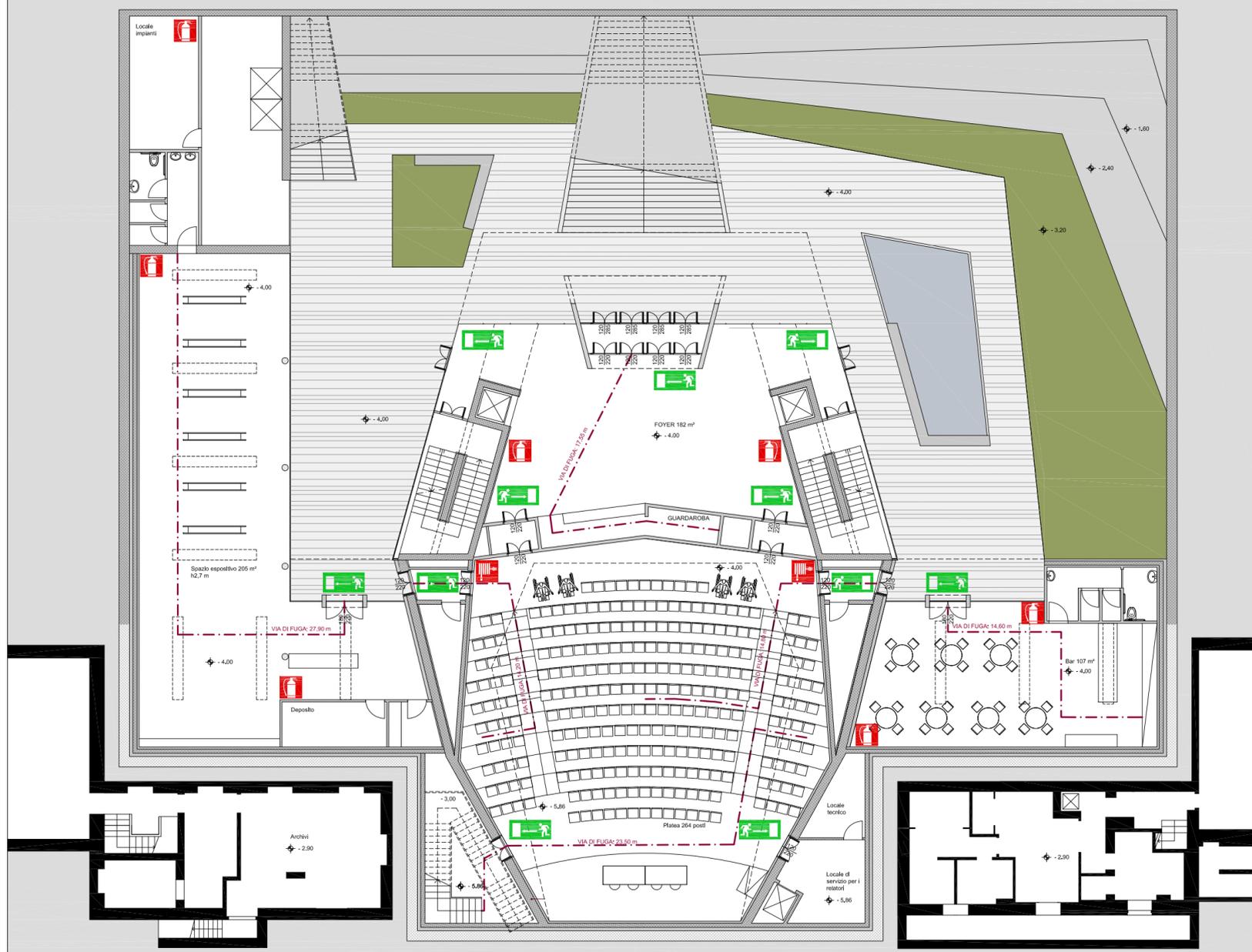




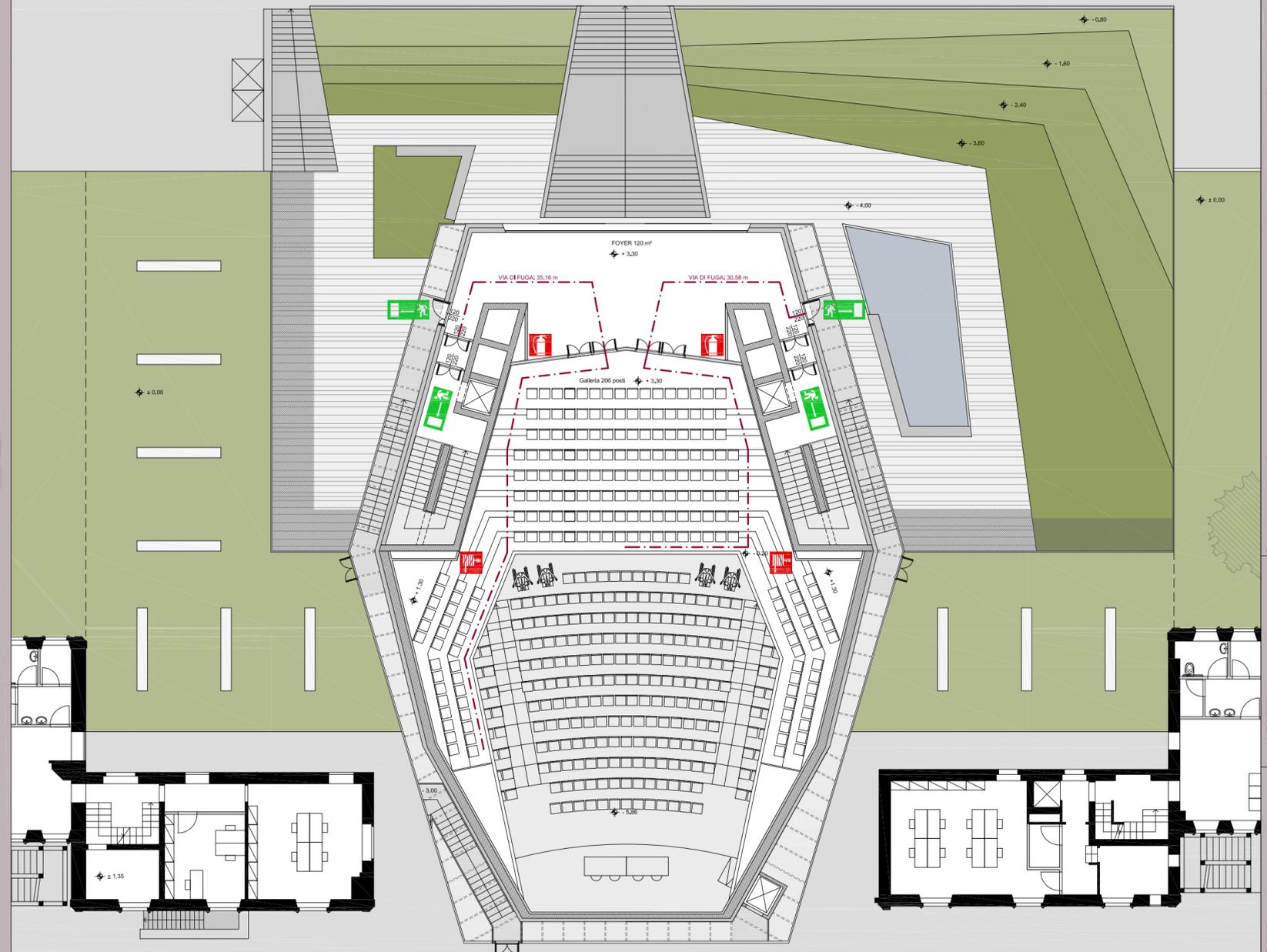








PIANTA PIANO -1 (-4.00m)



PIANTA PIANO TERRA (±0.00m)

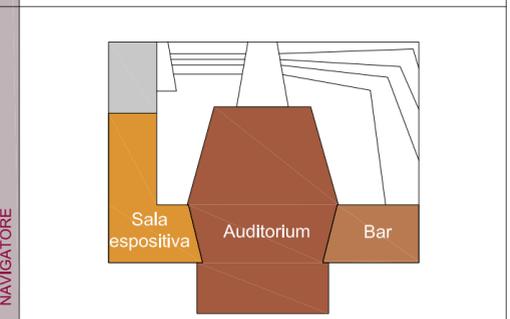
REQUISITI ANTINCENDIO DA RISPETTARE	
Classificazione	d (Auditori e sale convegno)
Definizione	Locali destinati a concerti, conferenze, congressi e simili.
Altezza antincendio edificio	Fino a 12 m REI 60
Distribuzione posti a sedere	Distanza tra i sedili 1,10 m Settori da max 300 posti: - max 20 posti per fila - max 15 file consecutive Sedili accostati alle pareti laterali: - max 4 posti a sedere
Affollamento	Pari al numero di posti a sedere compresi i portatori di handicap: 470 persone
Capacità di deflusso	Per locali con pavimento a quota compresa tra più o meno 7,50 m rispetto al piano di riferimento: inferiore a 37,5
Vie d'uscita	- Altezza porta non inferiore a 2 m - Numero porte non inferiore a 3 - Larghezza porta non inferiore a 1,2m, larghezza totale a piano: $P-1 = \frac{264}{37,5} = 7,0$ moduli da 0,6 m $PT = \frac{206}{37,5} = 5,5$ moduli da 0,6 m - Lungh. max via d'uscita: 50m
Estintori	- 1 ogni 200m² ubicati in prossimità delle uscite e nei luoghi di pericolo maggiore - minimo 2 a piano
Naspi	- DN 20: previsto per edifici con capienza superiore a 300 persone e non superiore a 600 - corredato da tubazione semirigida lunga 20 m - Numero (2) e posizione in modo da consentire il raggiungimento con il getto di ogni punto dell'area protetta

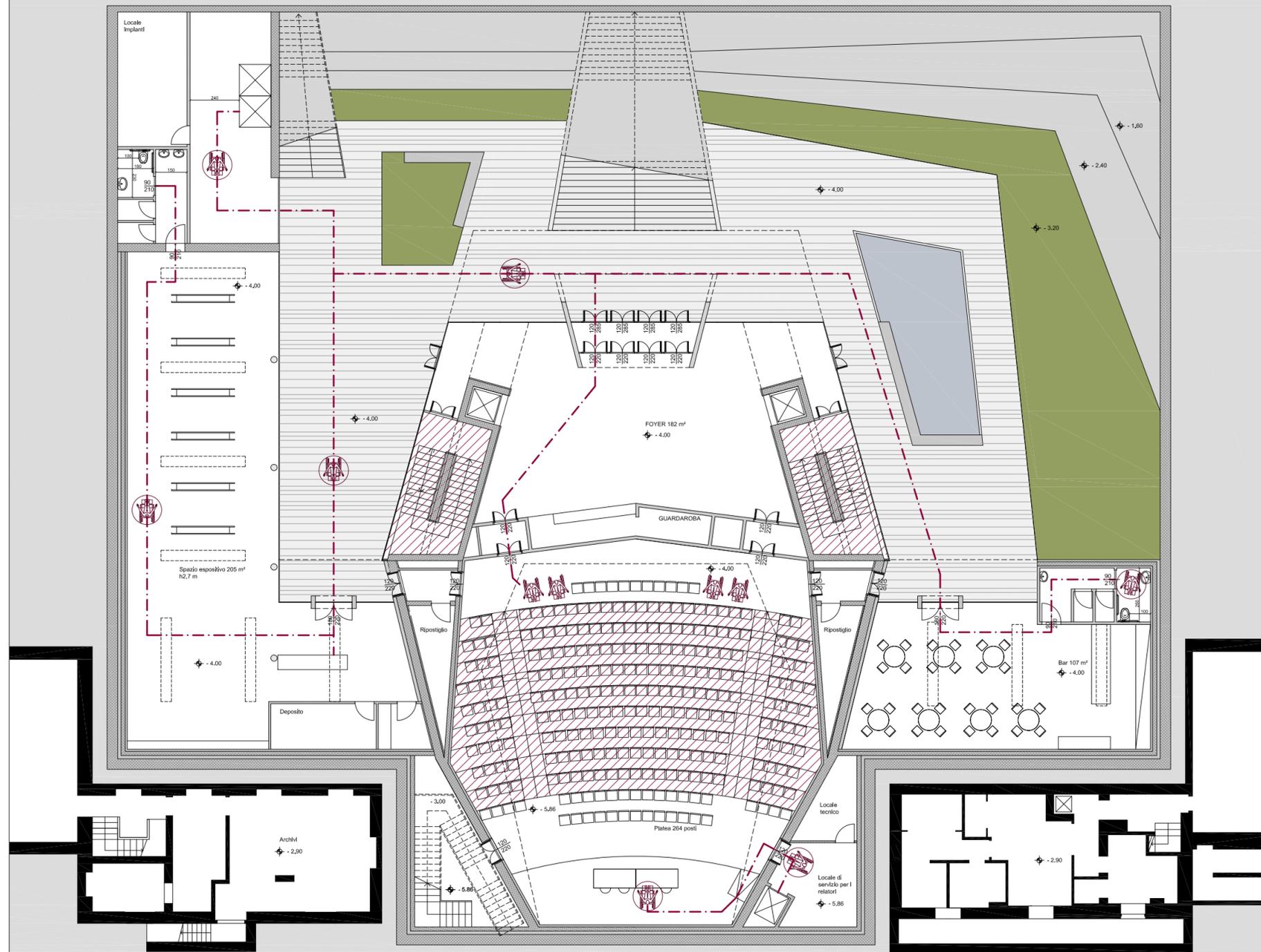
--- Percorso di uscita orizzontale

USCITA DI EMERGENZA

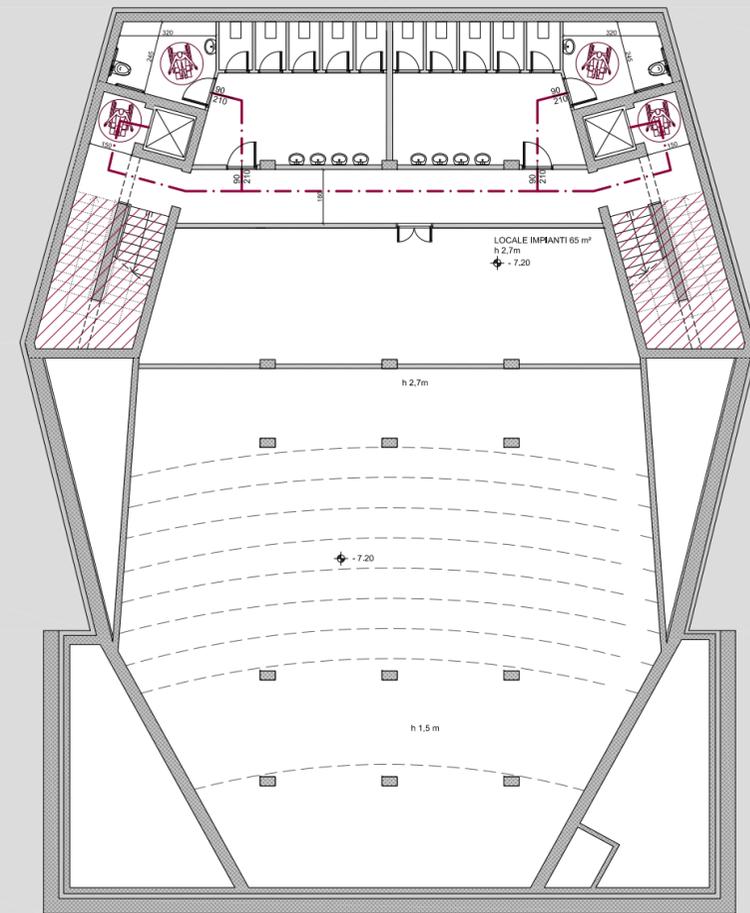
ESTINTORE PORTATILE

NASPO DN 20





PIANTA PIANO -1 (-4.00m)



PIANTA PIANO -2 (-7.20m)

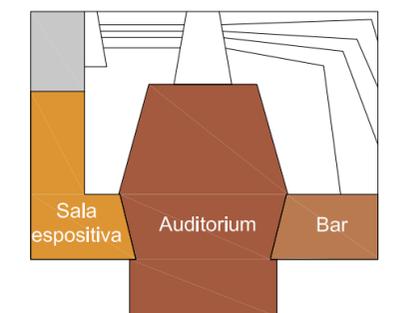
REQUISITI NORMATIVI DA RISPETTARE	
Porte	- La luce delle porte deve essere di minimo 90 cm. - L'altezza delle maniglie compresa tra 85 e 95 cm (consigliata 90 cm)
Servizi igienici	- Lo spazio necessario all'accostamento e al trasferimento laterale dalla sedia a ruote alla tazza w.c. deve essere minimo di 100 cm - Lo spazio necessario all'accostamento frontale della sedia a ruota al lavabo deve essere minimo di 80 cm misurati dal bordo anteriore del lavabo.
Corridoi	La larghezza minima è di 100 cm. Prevedere un allargamento ogni 10 m per l'inversione di marcia della sedia a ruote.
Scale	- Altezza porta non inferiore a 2 m - Larghezza minima di 120 cm (pedata 30 cm).
Ascensori	Negli edifici di nuova edificazione, non residenziali, l'ascensore deve avere le seguenti caratteristiche: - cabina di dimensioni minime di 1,30 m di profondità e 1,10 m di larghezza; - porta con luce minima di 0,80 m posta sul lato corto; - piattaforma minima di distribuzione anteriore alla porta della cabina di 1,50 x 1,50 m.

D.M. 14/06/1989 e D.P.R. 24/06/1996, n.503_Normative di riferimento per il controllo e la verifica del requisito di accessibilità

LEGENDA



NAVIGATORE



Il progetto Tecnologico



14 Scelte tecnologiche

14.1 Requisiti e obiettivi di progetto

Le tecnologie adottate nel progetto devono poter garantire al fruitore dell'opera parametri quali:

- Comfort;
- Flessibilità;
- Risparmio energetico;
- Elasticità funzionale;
- Contenimento dei costi di manutenzione e di conduzione.

Essendo il comfort un parametro soggettivo si introducono delle caratteristiche per poterlo definire:

- Temperatura dell'aria;
- Temperatura media radiante;
- Umidità dell'aria;
- Salubrità dell'aria;
- Velocità dell'aria nell'ambiente;
- Rumore.

Temperatura aria ambiente

Nel funzionamento invernale è generalmente considerata ottimale una temperatura compresa tra i 20°C e i 21°C; nel funzionamento estivo tra i 24° e i 26°C. La temperatura di progetto estiva indicata nella Normativa UNI 10339 è 26°C; quella invernale, per i noti motivi energetici, è di 20°C.

Temperatura Media Radiante

E' la media, ponderata in funzione della superficie totale che racchiude l'ambiente occupato, della sommatoria dei prodotti tra superfici costituenti l'involucro dell'ambiente e le rispettive temperature superficiali. Il corpo umano è molto sensibile alle temperature superficiali delle pareti e/o oggetti che lo circondano. Il migliore comfort viene raggiunto in corrispondenza di temperature medie superficiali prossime alla temperatura ambiente.

Umidità relativa

Un corretto controllo dell'umidità relativa oltre alla temperatura è un parametro fondamentale per poter garantire un adeguato confort.

Nel funzionamento estivo è generalmente considerata ottimale un'umidità relativa compresa tra il 45% e il 50%; in quello invernale tra il 40% e il 50%.

Salubrità dell'aria

E' in funzione della quantità dell'aria esterna introdotta nell'ambiente, del numero dei ricambi di aria esterna e del grado di filtrazione della stessa.

Velocità dell'aria in ambiente

Sono generalmente ritenute accettabili velocità dell'aria, misurate in corrispondenza della zona occupata dagli utenti (a circa 1,5 metri da pavimento), inferiori o uguali a 0,15 m/s.



Rumore

Normalmente, in virtù del fatto che è quasi sempre presente un certo brusio di sottofondo, si ritiene accettabile un livello di rumore generato dagli impianti all'interno degli ambienti occupati non superiore a 45 dB(A).

La progettazione tecnologica dell'edificio ha come obiettivo di massimizzare l'utilizzo di risorse rinnovabili e l'impiego di tecniche di recupero energetico, rendendo l'edificio il meno impattante possibile dal punto di vista dei consumi e del costo di mantenimento.

Si è scelto di utilizzare materiali con caratteristiche di elevata durabilità sia negli ambienti esterni che in quelli interni.

Per il calcolo della termotrasmittanza offerta dai vari pacchetti tecnologici sono stati utilizzati come valori massimi quelli definiti dal D. Lgs. n° 311 del 29.12.2006¹.

14.2 Valutazione critica e scelta delle tipologie di rivestimento

L'edificio oggetto di studio va ad inserirsi in un sistema urbano molto consolidato, all'interno di un sistema a padiglioni di inizio novecento.

I principali materiali utilizzati sono intonaco e pietra artificiale che definiscono i bugnati e i cornicioni delle finestre.

L'idea progettuale è quella di restituire un volume ben definito, che vada a legarsi con l'intorno riprendendo i cromatismi degli edifici esistenti, ma utilizzando un materiale differente.

Data la geometria del nuovo manufatto molto articolata e la volontà di avere il medesimo rivestimento sia in copertura che in facciata, si è optato di utilizzare un rivestimento in rame, molto flessibile, che rivesta l'edificio con una superficie continua ad omogenea.

La scelta di un rivestimento in rame è dettata inoltre dalle sue proprietà di:

- protezione contro la corrosione in ogni condizione atmosferica mediante la propria patina ossidata, senza necessità di manutenzione;
- essere un materiale di rivestimento leggero;
- essere facilmente modellabile;
- non tossico e sicuro durante la lavorazione;
- di garantire una durata eccezionale.

La struttura principale dell'auditorium è costituita da setti in calcestruzzo, con travi reticolari in copertura e in corrispondenza del solaio di interpano in acciaio. Alla struttura principale portante è ancorato un sistema secondario di tubolari che formano la geometria finale dell'edificio, sui quali a loro volta è fissato tramite dei travetti il rivestimento in doghe di rame.

Rivestimento in rame

Il rivestimento in rame è costituito da elementi pre-profilati maschio - femmina con lunghezze che variano da 0,5 a 4 metri per un'altezza che varia in tre moduli: elementi da 20, 33 e 40 cm. Grazie alle tre diverse altezze si è potuto realizzare un rivestimento di facciata dinamico, senza avere una ripetizione seriale del medesimo modulo. Si è comunque scelto di utilizzare solo tre diverse altezze per non complicare la fase di realizzazione esecutiva.

¹ Per le verifiche prestazionali dei vari pacchetti tecnologici vedi cap. 13.5.



Il montaggio avviene direttamente in cantiere con giunzioni a scomparsa maschio/femmina, l'inclinazione delle doghe segue perpendicolarmente le falde ancorandosi ad una sottostruttura tubolare secondaria, nella quale avviene anche la ventilazione.

Il rame utilizzato per il rivestimento è pre-ossidato e conferisce ad esso una colorazione bruno rossiccia, in seguito la colorazione muta evolvendosi verso un colore antracite marrone scuro.

Rispetto al rame naturale lo strato di ossido si forma molto più lentamente e la colorazione bruno rossiccia è più duratura nel tempo.

Sul foyer a sbalzo è presente una grande vetrata a Nord con una parte in estrusione verso l'interno realizzata anch'essa in rame, ma per accentuare l'effetto prospettico si è scelto di utilizzare una diversa colorazione, utilizzando sempre un rame pre-ossidato con finitura zincata.

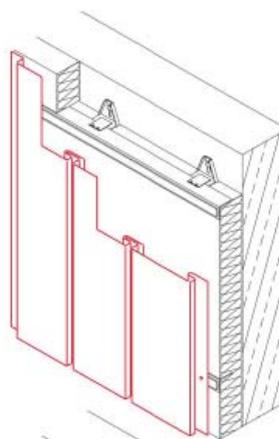


Fig. 14.1. - Rivestimento in rame con giunzioni maschio - femmina.



Fig. 14.2. - Finitura rivestimento in rame pre - ossidato.

Proprietà fisiche rame

Densità	8,83 g/cm ³
Coefficiente di espansione	1,7 mm/m ΔT 100 K
Modulo di elasticità a 20°C	120kN/mm ²

La facciata vetrata

Il rivestimento del foyer del piano interrato è costituito da una vetrata continua che delimita lo spazio ipogeo, permettendo un contatto visivo con l'esterno.

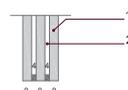
Le principali caratteristiche che la vetrata deve garantire sono le seguenti:

- tenuta all'acqua;
- resistenza agli agenti atmosferici;
- resistenza meccanica e stabilità del vetro;
- isolamento termico
- isolamento acustico
- sicurezza anti-effrazione
- manutenibilità e sicurezza d'uso.

Gli elementi vetrati, da un lato, devono garantire il contatto con l'esterno e, dall'altro, costituire una barriera termica in modo da creare condizioni interne agli ambienti il più possibile confortevoli per gli occupanti.

Costruire una barriera termica significa isolare termicamente l'edificio, limitando le dispersioni energetiche, ovvero: diminuire le dispersioni invernali e diminuire i carichi estivi.

Una corretta progettazione dei sistemi vetrati comporta la riduzione dei consu-



1. Vetro Float selettivo, possiede le proprietà di filtrare parte dei raggi UV per ridurre il riscaldamento della vetrata.

2. Intercapedine d'aria sp. 4 mm

Trasmittanza U = 1,20 W/m²K

Fig. 14.3. - Sezione triplo vetro.



mi energetici e delle spese economiche per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo.

L'illuminazione naturale dell'interno garantisce un risparmio energetico ed un comfort visivo, però crea la possibilità di abbagliamento o di forti differenze di luminanza, bisogna perciò garantire un opportuno sistema di schermatura.

La penetrazione della radiazione solare favorisce l'efficienza energetica, ma a sua volta genera un carico termico non desiderato nel periodo estivo.

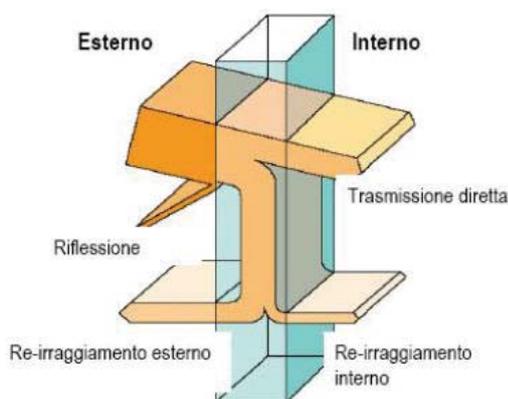
Il vetro scelto per la reaizzazione della vetrata è un triplo vetro float selettivo, di seguito si riportano le principali caratteristiche.

Vetro float

Il vetro float è costituito da lastre con facce piane e parallele esenti da imperfezioni legati al passaggio sui rulli. Nel processo "Float", il vetro fuso è versato ad una estremità di un bagno di stagno fuso. Il vetro galleggia sullo stagno e si spande lungo la superficie del bagno, formando una superficie liscia su entrambi i lati.

Il vetro si raffredda e solidifica mentre scorre lungo il bagno formando un nastro continuo. Il prodotto è poi lucidato a fuoco, riscaldandolo nuovamente su entrambi i lati, e presenta così due superfici perfettamente parallele.

Fig. 14.4. - Vetro float.

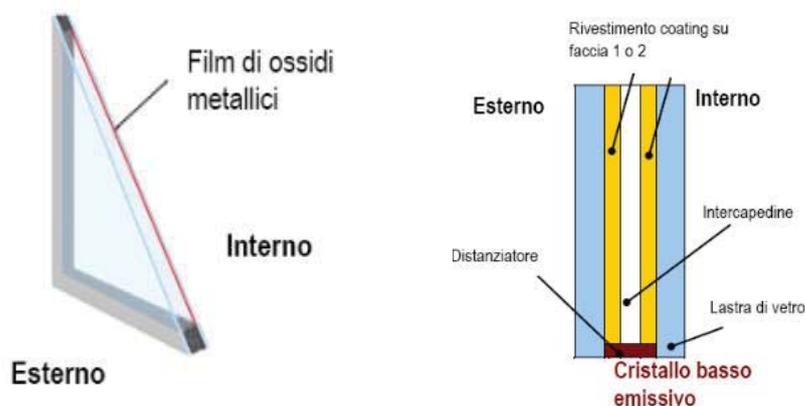


Vetro selettivo

I vetri selettivi sono ottenuti mediante deposizione catodica sottovuoto di più strati di metalli nobili su un vetro float. I depositi così applicati sono fortemente riflettenti nel campo dell'infrarosso. Si caratterizza per l'elevata trasmissione luminosa, il limitato apporto energetico e bassi valori di emissività.

Fig. 14.5. - Vetro selettivo.

Fig. 14.6. - Sezione doppio vetro selettivo.





14.3 Soluzioni tecnologiche adottate

Si riportano di seguito i pacchetti tecnologici adottati per la realizzazione dell'auditorium, ogni pacchetto garantisce le prestazioni minime secondo la Normativa (D.Lgs. 311). Per valutare le prestazioni dei vari pacchetti si utilizza la trasmittanza U, che fornisce la quantità di energia che viene dispersa in un secondo su 1 m² di superficie della parete o del solaio, con un differenza di 1 grado Kelvin. L'analisi del fenomeno di trasmissione di calore, può avvenire in tre modi diversi conduzione, irraggiamento e convezione, e risulta molto complicato. Dunque, per facilitare i calcoli, si ipotizzano le seguenti condizioni:

- regime stazionario (costante nel tempo);
- parete piana infinita;
- materiale omogeneo e isotropo;
- le superfici esterne della parete vengono considerate isoterme;

Chiusure orizzontali

Solaio controterra CO_01p

SOLAIO CONTROTERRA_CO_01p

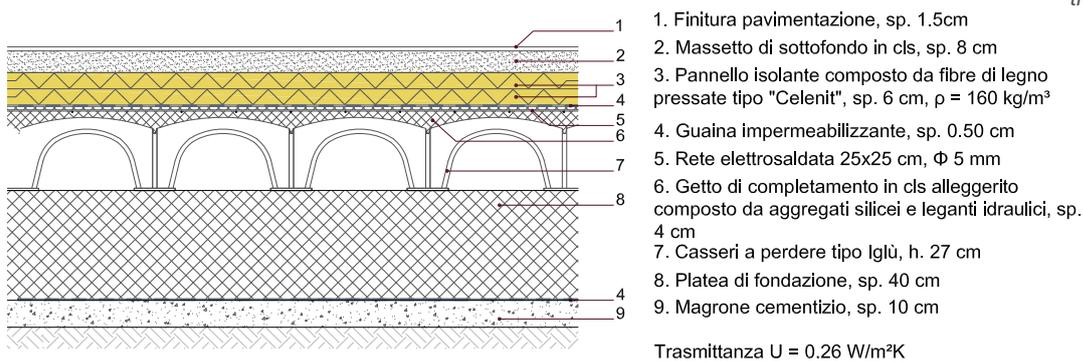


Fig. 14.7. - Solaio interpiano.

Il solaio controterra, a differenza degli altri solai, divide un ambiente interno ad una temperatura di 20° con il terreno considerato a circa 5°.

Il solaio areato è realizzato con casseri tipo iglù di altezza 27 cm, atti a resistere un sovraccarico di 6 kN/m², l'isolante utilizzato è un composto da fibre di legno pressate.

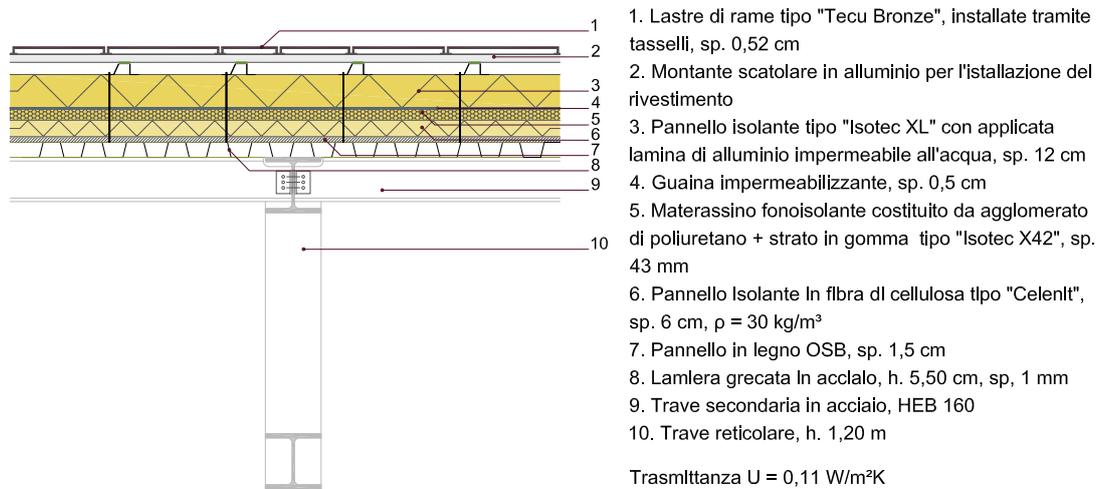


Fig. 14.8. - Iglù.
Fig. 14.9. - Isolante in fibra di legno



Solaio di copertura CO_02p

Fig. 14.10. - Solaio di copertura Auditorium.



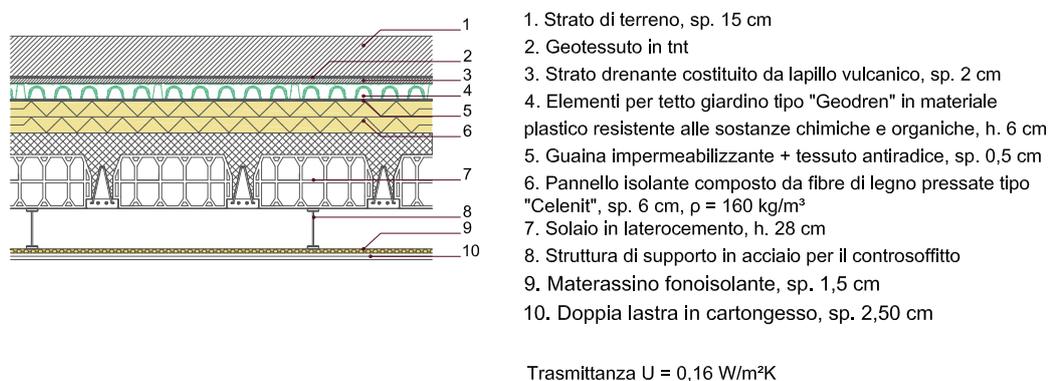
Il solaio di copertura essendo a diretto contatto con la sala deve garantire un'ottimo isolamento termico e acustico. Il rivestimento esterno è in rame, montato su una sottostruttura metallica sotto la quale si trova un doppio strato di isolante termico e un materassino fonoassorbente. Il tutto è assemblato a secco senza gettare un massetto sopra la lamiera grecata. Tutto il pacchetto di copertura poggia sopra a travi reticolari metalliche, al di sotto delle quali è appeso il rivestimento in legno interno della sala e gli impianti di illuminazione.

Fig. 14.11. - Isolante Isotec Xl (sinistra).
Fig. 14.12. - Isolante in fibra di cellulosa (destra).



Tetto giardino CO_03p

Fig. 14.13. - Tetto giardino CO_03p



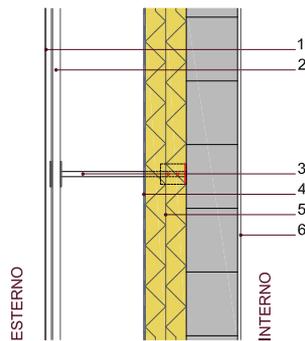


Il tetto giardino si trova al di sopra del bar e della sala espositiva. Il sistema è composto da elementi in materiale plastico che permettono un maggior deflusso d'acqua trattenendone una parte in accumulo per la vegetazione.

La soluzione adottata prevede il recupero di acqua piovana per mantenere la vegetazione, elevata resistenza a compressione, autoregolazione del drenaggio, irrigazione, aerazione e velocità di posa.

Chiusure verticali

Muro esterno foyer CV_01p



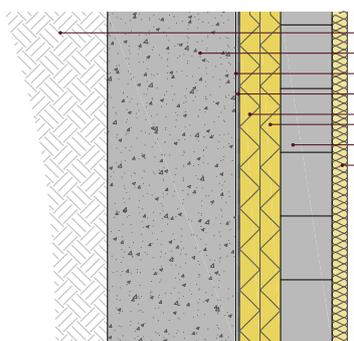
1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Finitura cls a vista

Trasmittanza $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fig. 14.14. - Muro esterno foyer CV_01p.

Il rivestimento esterno dell'auditorium è costituito da elementi pre-profilati maschio - femmina collegati ad una sottostruttura di montanti in acciaio. Il doppio strato di isolante mantiene nell'edificio un determinato comfort termico, rispettando la Normativa.

Muro controterra palco CV_02p



1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

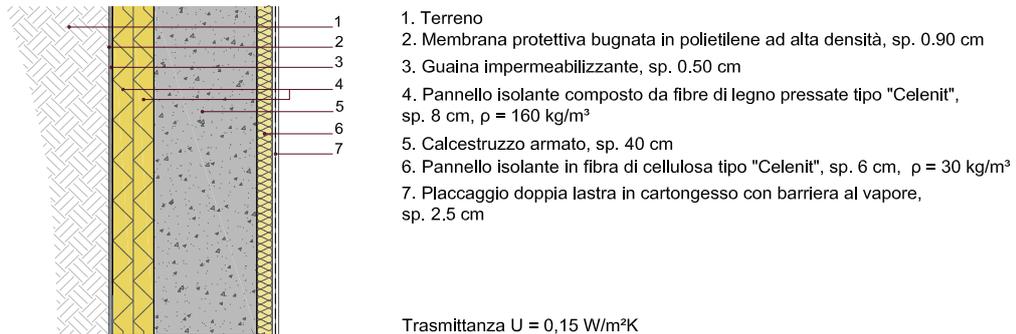
Fig. 14.15. - Muro controterra CV_02p.

La sala dell'auditorium è in parte in ipogeo ad una quota di -7,20 m dal piano di campagna, ed in parte esterna, è stato perciò necessario realizzare una paratia di sostegno. Lo strato isolante è costituito da due pannelli in fibra di legno, posti tra la paratia e il muro in blocchi di cls, internamente prima del rivestimento in legno è posto un pannello isolante in fibra di cellulosa.



Muro controterra laterale CV_03p

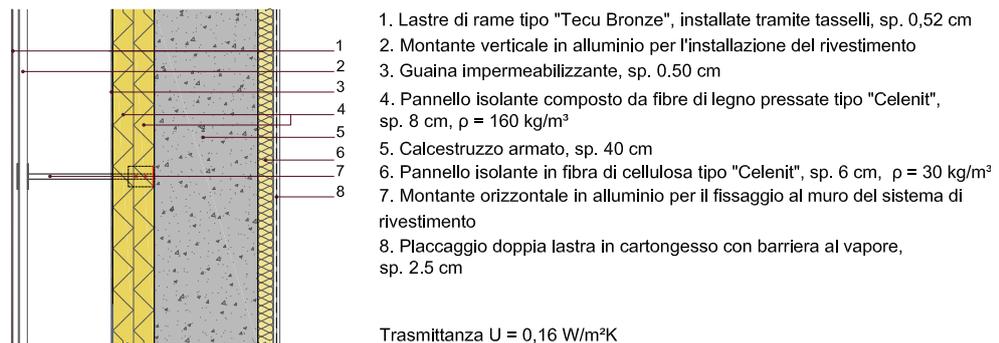
Fig. 14.16. - Muro controterra laterale CV_03p.



Così come per le pareti del palco anche per le pareti laterali dei vani scale controterra si è applicato un doppio strato esterno di isolante in fibra di cellulosa, mentre sulla parete interna prima del placcaggio in cartongesso è presente un isolante in fibra di legno.

Muro laterale CV_04p

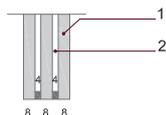
Fig. 14.17. - Muro controterra laterale CV_04p.



Il rivestimento esterno dell'auditorium è costituito da doghe di rame collegate ad una sottostruttura metallica ancorata ai setti portanti, così come per le pareti controterra CV_03p si è mantenuta la stessa stratigrafia degli isolanti per mantenere la continuità.

Vetrata CV_05p

Fig. 14.18. - Vetrata CV_05p.

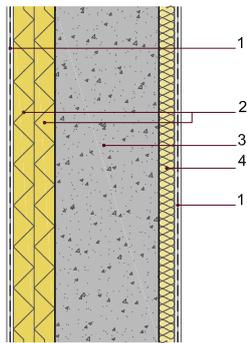


1. Vetro Float selettivo, possiede le proprietà di filtrare parte dei raggi UV per ridurre il riscaldamento della vetrata.
2. Intercapedine d'aria sp. 4 mm

Per garantire un elevato livello prestazionale la vetrata è costituita da un triplo vetro float selettivo .



Muro laterale bar esposizione CV_06p

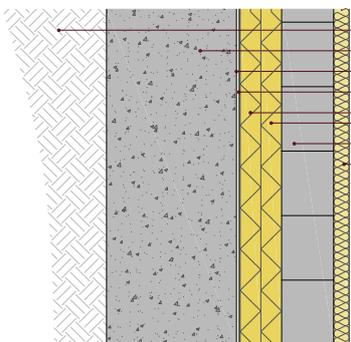


1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm
2. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
3. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
4. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

Trasmittanza $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fig. 14.19. - Muro laterale bar esposizione CV_06p.

Muro controterra bar esposizione CV_07p

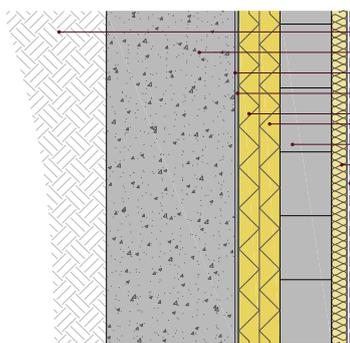


1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0.90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fig. 14.20. - Muro controterra bar esposizione con paratia CV_07p.

Muro controterra bar esposizione CV_08p



1. Terreno
2. Muro di sostegno, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0.90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

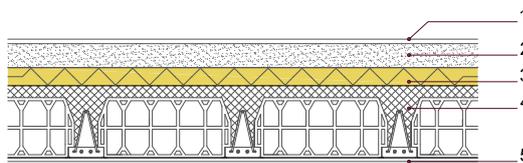
Fig. 14.21. - Muro controterra bar esposizione con muro a mensola CV_08p.



Partizioni orizzontali

Solaio piano interrato foyer POI_01p

Fig. 14.22. - Solaio piano interrato POI_01p.

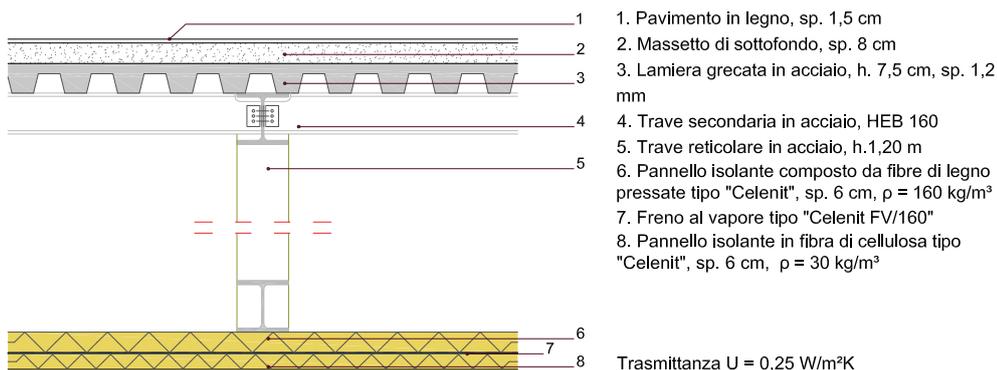


1. Finitura pavimentazione, sp. 1.5cm
2. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm
3. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
4. Solaio in latero cemento 20+4 cm
5. Placcaggio doppia lastra in cartongesso, sp. 2.5 cm

Il solaio interpiano del foyer è realizzato in laterocemento non essendo a contatto con l'esterno non necessita di uno strato elevato di isolate. Il foyer è a 20° mentre nel piano sottostante si trovano i bagni che hanno una temperatura di 18°, perciò il salto termico è solo di 2°.

Solaio primo piano foyer POI_02p

Fig. 14.23. - Solaio primo piano foyer POI_02p.

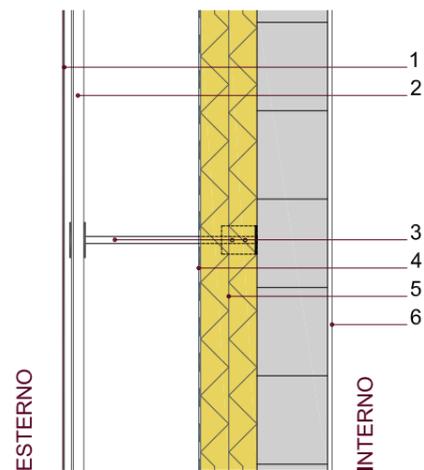


1. Pavimento in legno, sp. 1,5 cm
 2. Massetto di sottofondo, sp. 8 cm
 3. Lamiera grecata in acciaio, h. 7,5 cm, sp. 1,2 mm
 4. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
 5. Trave reticolare in acciaio, h. 1,20 m
 6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 7. Freno al vapore tipo "Celenit FV/160"
 8. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
- Trasmittanza $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Il solaio del primo piano del foyer è realizzato in acciaio, le travi secondarie poggiano su travi reticolari. Il solaio in parte è comunicante con l'esterno e in parte comunica con il foyer è perciò presente un doppio strato di isolate.

Di seguito vengono allegare le tavole dell'abaco delle classi di unità tecnologica.

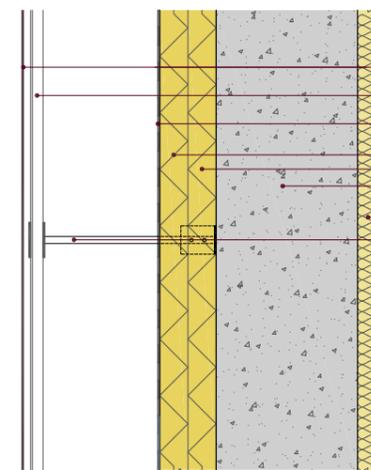
MURO ESTERNO FOYER_CV_01p



1. Lastre di rame, installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm (finitura bronzo)
2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Finitura cls a vista

Trasmittanza $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

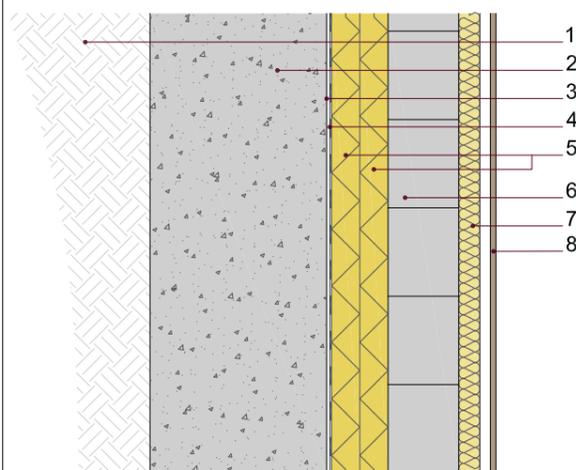
MURO LATERALE_CV_04p



1. Lastre di rame tipo, installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm (finitura bronzo)
2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
5. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm

Trasmittanza $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

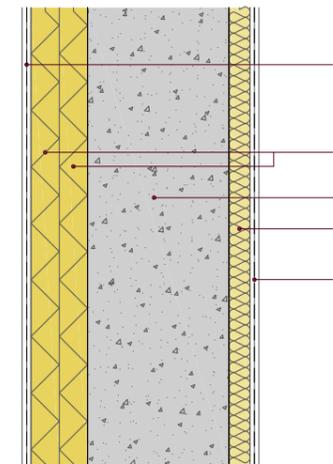
MURO CONTROTERRA PALCO_CV_02p



1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

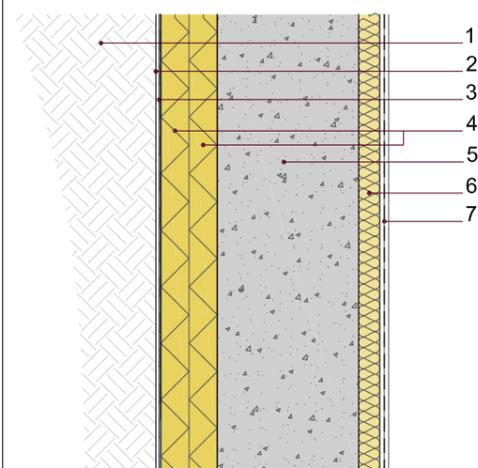
MURO LATERALE/BAR/ESPOSIZIONE_CV_06p



1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm
2. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
3. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
4. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

Trasmittanza $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

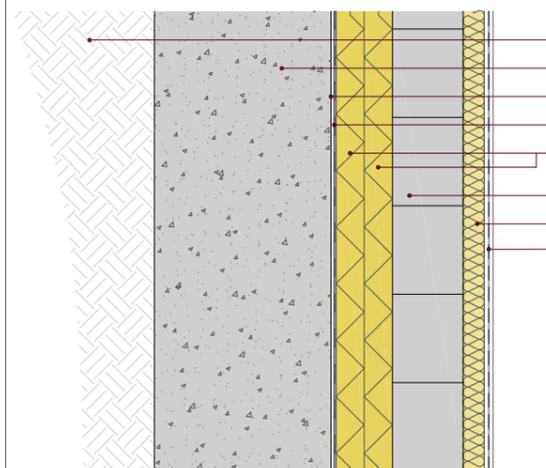
MURO CONTROTERRA LATERALE_CV_03p



1. Terreno
2. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
3. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
5. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm

Trasmittanza $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

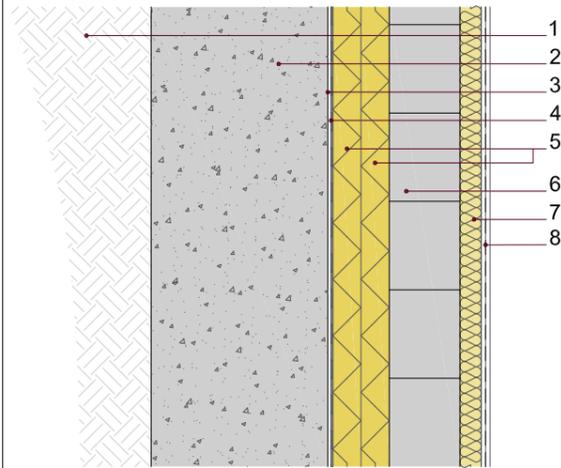
MURO CONTROTERRA BAR/ESPOSIZIONE_CV_07p



1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

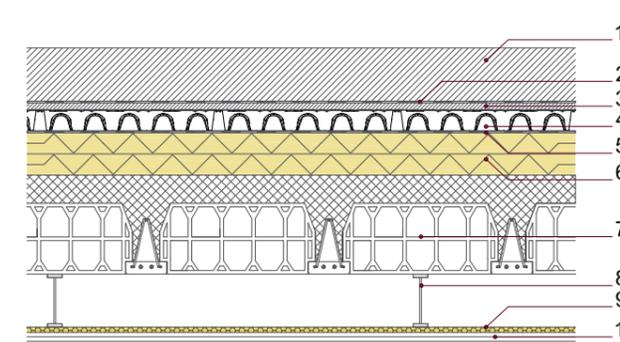
MURO CONTROTERRA BAR/ESPOSIZIONE_CV_08p



1. Terreno
2. Muro di sostegno, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0.90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

Trasmittanza $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

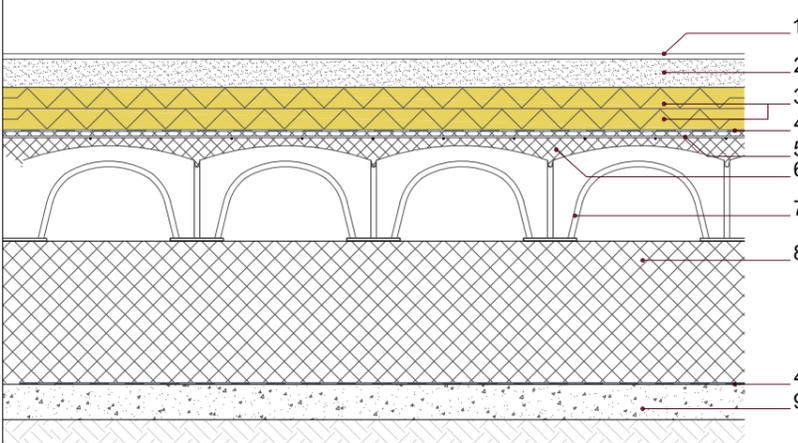
TETTO GIARDINO_CO_03p



1. Strato di terreno, sp. 15 cm
2. Geotessuto in tnt
3. Strato drenante costituito da lapillo vulcanico, sp. 2 cm
4. Elementi per tetto giardino in materiale plastico resistente alle sostanze chimiche e organiche, h. 6 cm
5. Guaina impermeabilizzante + tessuto antiradice, sp. 0,5 cm
6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
7. Solaio in laterocemento, h. 28 cm
8. Struttura di supporto in acciaio per il controsoffitto
9. Materassino fonoisolante, sp. 1,5 cm
10. Doppia lastra in cartongesso, sp. 2,50 cm

Trasmittanza $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

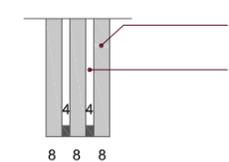
SOLAIO CONTROTERRA_CO_01p



1. Finitura pavimentazione, sp. 1.5cm
2. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm
3. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
5. Rete elettrosaldata 25x25 cm, $\Phi 5 \text{ mm}$
6. Getto di completamento in cls alleggerito composto da aggregati silicei e leganti idraulici, sp. 4 cm
7. Casseri a perdere tipo Iglù, h. 27 cm
8. Platea di fondazione, sp. 40 cm
9. Magrone cementizio, sp. 10 cm

Trasmittanza $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$

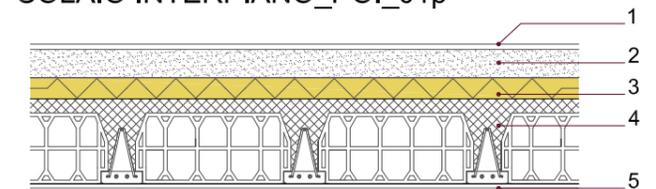
VETRATA_CV_05p



1. Vetro Float selettivo, possiede le proprietà di filtrare parte dei raggi UV per ridurre il riscaldamento della vetrata.
2. Intercapedine d'aria sp. 4 mm

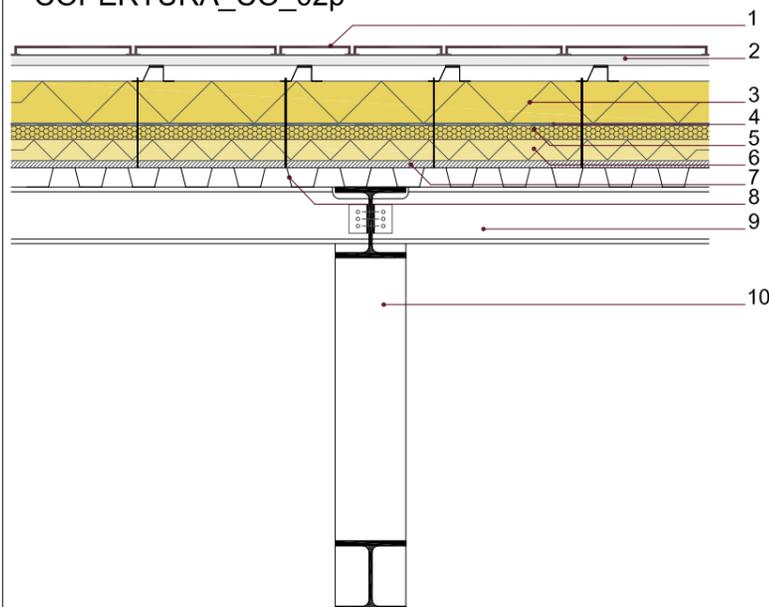
Trasmittanza $U = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

SOLAIO INTERPIANO_POI_01p



1. Finitura pavimentazione, sp. 1.5cm
2. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm
3. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
4. Solaio in latero cemento 20+4 cm
5. Placcaggio doppia lastra in cartongesso, sp. 2.5 cm

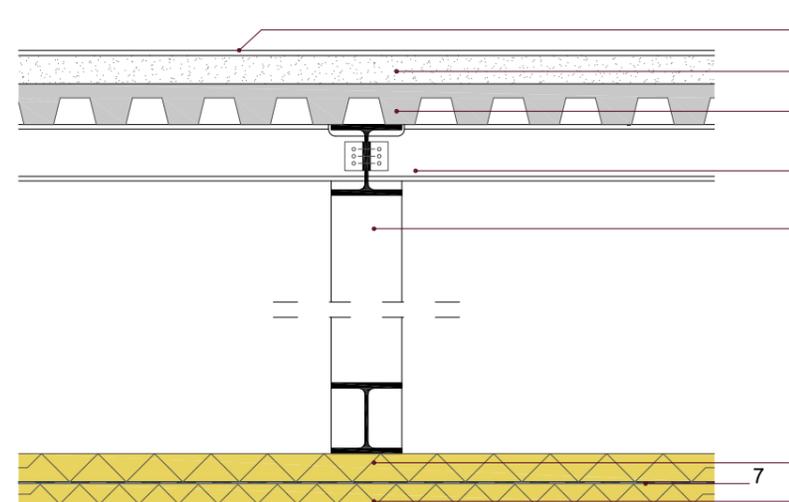
COPERTURA_CO_02p



1. Lastre di rame tipo, installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm (finitura bronzo)
2. Montante scatolare in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Pannello isolante con applicata lamina di alluminio impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma sp. 43 mm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Pannello in legno OSB, sp. 1,5 cm
8. Lamiera grecata in acciaio, h. 5,50 cm, sp. 1 mm
9. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
10. Trave reticolare, h. 1,20 m

Trasmittanza $U = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$

SOLAIO INTERPIANO_POI_02p

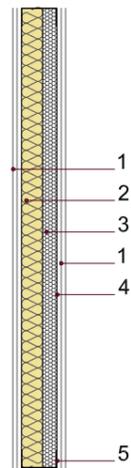


1. Pavimento in legno, sp. 1,5 cm
2. Massetto di sottofondo, sp. 8 cm
3. Lamiera grecata in acciaio, h. 7,5 cm, sp. 1,2 mm
4. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
5. Trave reticolare in acciaio, h. 1,20 m
6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
7. Freno al vapore
8. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

Trasmittanza $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$



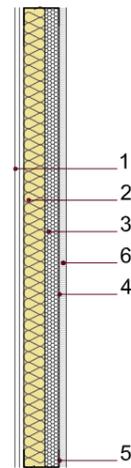
PARETE DIVISORIA INTERNA_PVI_01p



1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso , sp. 2.5 cm
2. Pannello isolante in lana minerale, sp. 6 cm
3. Pannello isolante acustico, $R_w=40\text{dB}$, sp. 4 cm
4. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
5. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso

Trasmittanza $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$

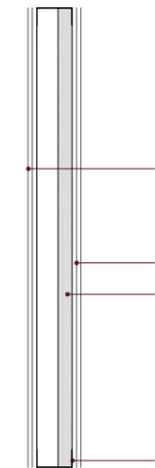
PARETE DIVISORIA INTERNA_PVI_02p



1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso , sp. 2.5 cm
2. Pannello isolante in lana minerale, sp. 6 cm
3. Pannello isolante acustico, $R_w=40\text{dB}$, sp. 4 cm
4. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
5. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
6. Materiale fonoisolante, sp. 2 cm

Trasmittanza $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$

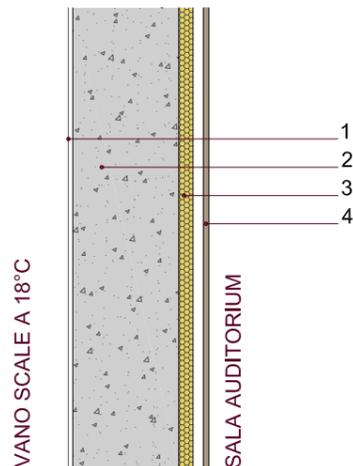
PARETE DIVISORIA INTERNA_PVI_05p



1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso, sp. 2.5 cm
2. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
3. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso

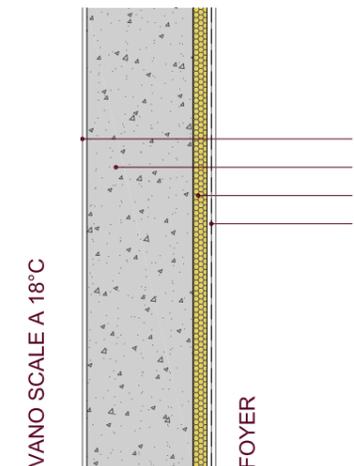
Trasmittanza $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$

MURO VANO SCALE/SALA INTERNA_PVI_03p



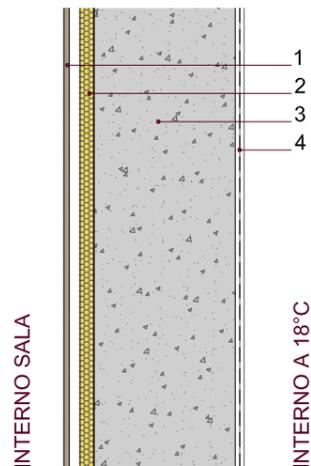
1. Finitura cemento a vista
2. Calcestruzzo armato, sp. 30 cm
3. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
4. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

MURO VANO SCALE/SALA INTERNA_PVI_06p



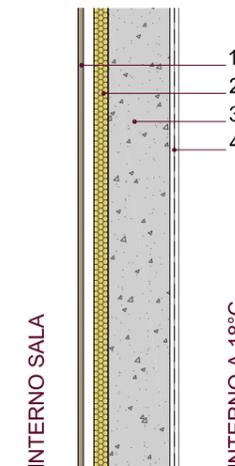
1. Finitura cemento a vista
2. Calcestruzzo armato, sp. 30 cm
3. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma tipo "Isotec X42", sp. 43 mm
4. Placcaggio doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2.5 cm

MURO LATERALE_PVI_04p



1. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m
2. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
3. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
4. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

MURO LATERALE_PVI_07p



1. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m
2. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
3. Calcestruzzo armato, sp. 20 cm
4. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm



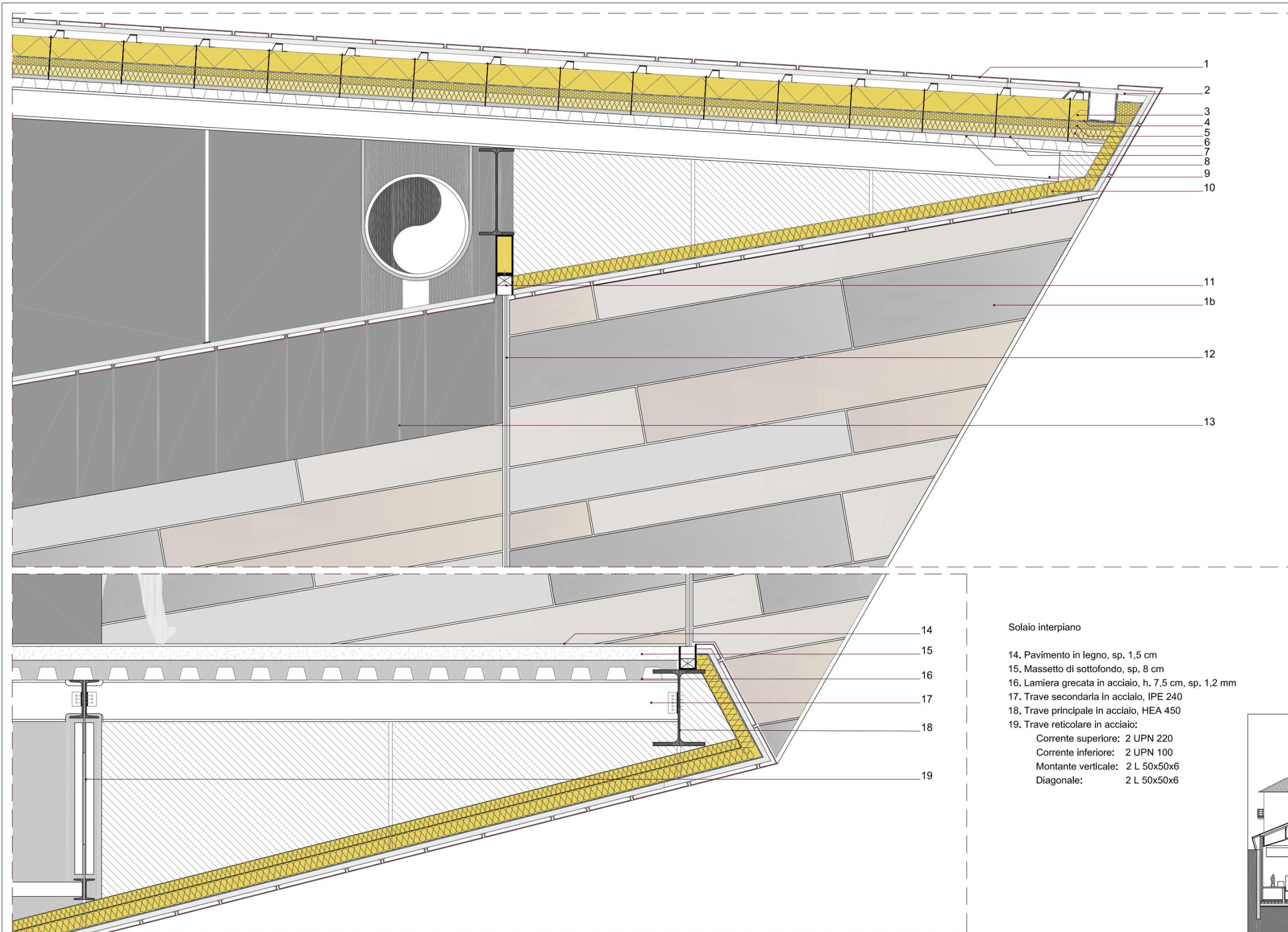
14.4 Il progetto tecnologico

Le tecnologie adottate nel progetto rispondono ai requisiti di comfort termometrici richiesti, oltre a soddisfare le esigenze architettoniche.

Di seguito si riportano i principali nodi analizzati e dimensionati quali:

- Sezione copertura e interpiano foyer quota 3,30 m;
- Sezione trasversale gradonata;
- Nodo copertura trasversale;
- Sezione spazio espositivo ipogeo.



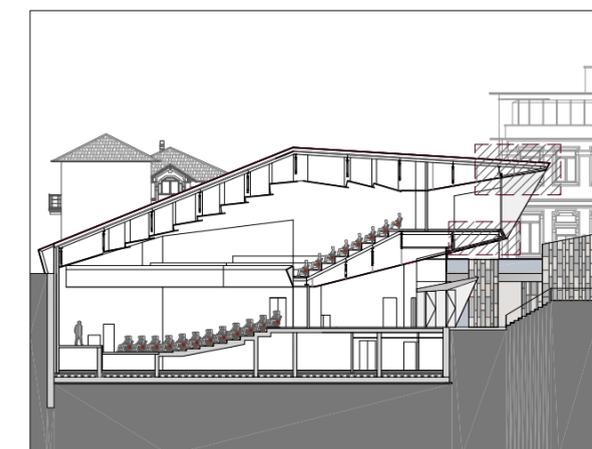


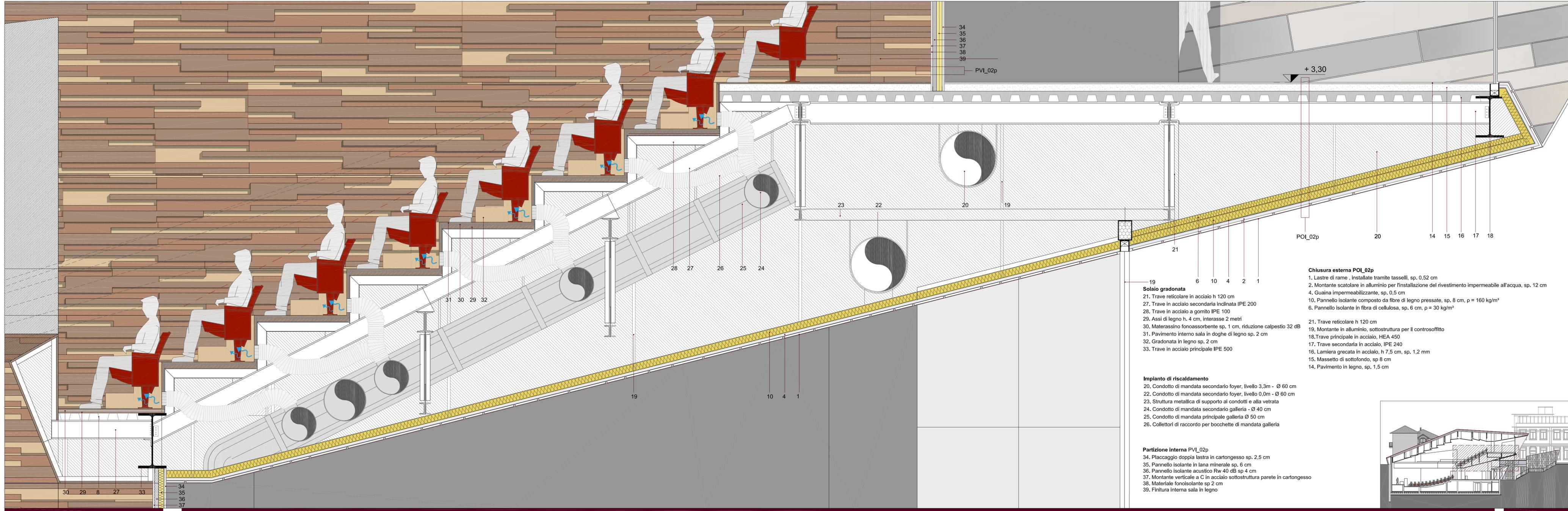
Copertura:

1. Lastre di rame (finitura bronzo), installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
- 1b. Lastre di rame (finitura ossidata), installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante scatolare in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Pannello isolante con applicata lamina di alluminio impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Pannello in legno OSB, sp. 1,5 cm
8. Lamiera grecata in acciaio, h. 5,50 cm, sp. 1,2 mm
9. Trave secondaria in acciaio, HEM 120
10. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
11. Telaio fisso in alluminio a taglio termico
12. Triplo vetro Float selettivo sp. 0,8-0,4-0,8-0,4-0,8 mm
13. Setto in c.a.p., sp. 30 cm

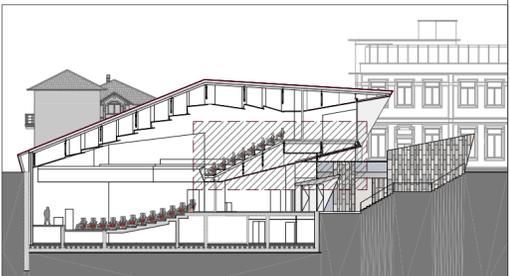
Solaio interpiano

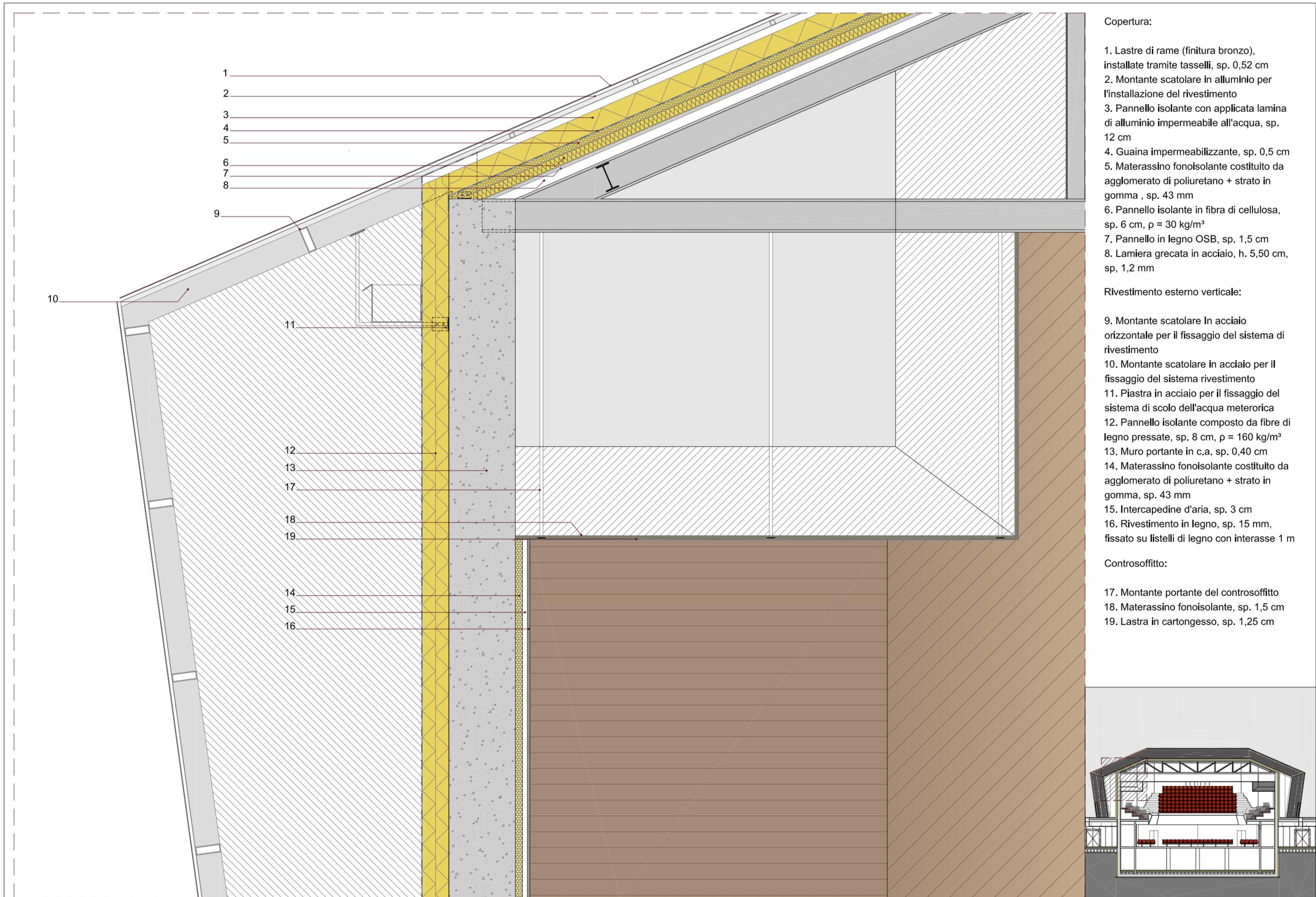
14. Pavimento in legno, sp. 1,5 cm
15. Massetto di sottofondo, sp. 8 cm
16. Lamiera grecata in acciaio, h. 7,5 cm, sp. 1,2 mm
17. Trave secondaria in acciaio, IPE 240
18. Trave principale in acciaio, HEA 450
19. Trave reticolare in acciaio:
 - Corrente superiore: 2 UPN 220
 - Corrente inferiore: 2 UPN 100
 - Montante verticale: 2 L 50x50x6
 - Diagonale: 2 L 50x50x6





- Chiusura esterna POI_02p**
1. Lastre di rame , installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
 2. Montante scatolare in alluminio per l'installazione del rivestimento impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
 4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
 10. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
- Impianto di riscaldamento**
20. Condotto di mandata secondario foyer, livello 3,3m - $\varnothing 60 \text{ cm}$
 22. Condotto di mandata secondario foyer, livello 0,0m - $\varnothing 60 \text{ cm}$
 23. Struttura metallica di supporto ai condotti e alla vetrata
 24. Condotto di mandata secondario galleria - $\varnothing 40 \text{ cm}$
 25. Condotto di mandata principale galleria $\varnothing 50 \text{ cm}$
 26. Collettori di raccordo per bocchette di mandata galleria
- Partizione interna PVI_02p**
34. Placcaggio doppia lastra in cartongesso sp. 2,5 cm
 35. Pannello isolante in lana minerale sp. 6 cm
 36. Pannello isolante acustico Rw 40 dB sp 4 cm
 37. Montante verticale a C in acciaio sottostruttura parete in cartongesso
 38. Materiale fonoisolante sp 2 cm
 39. Finitura interna sala in legno





Copertura:

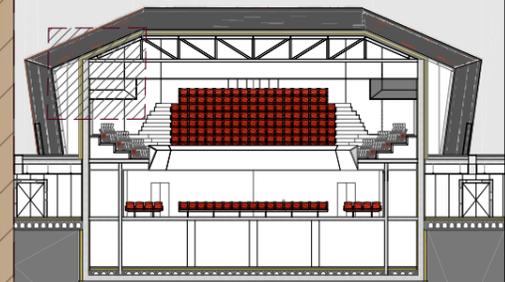
1. Lastre di rame (finitura bronzo), installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante scatolare in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Pannello isolante con applicata lamina di alluminio impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Pannello in legno OSB, sp. 1,5 cm
8. Lamiera grecata in acciaio, h. 5,50 cm, sp. 1,2 mm

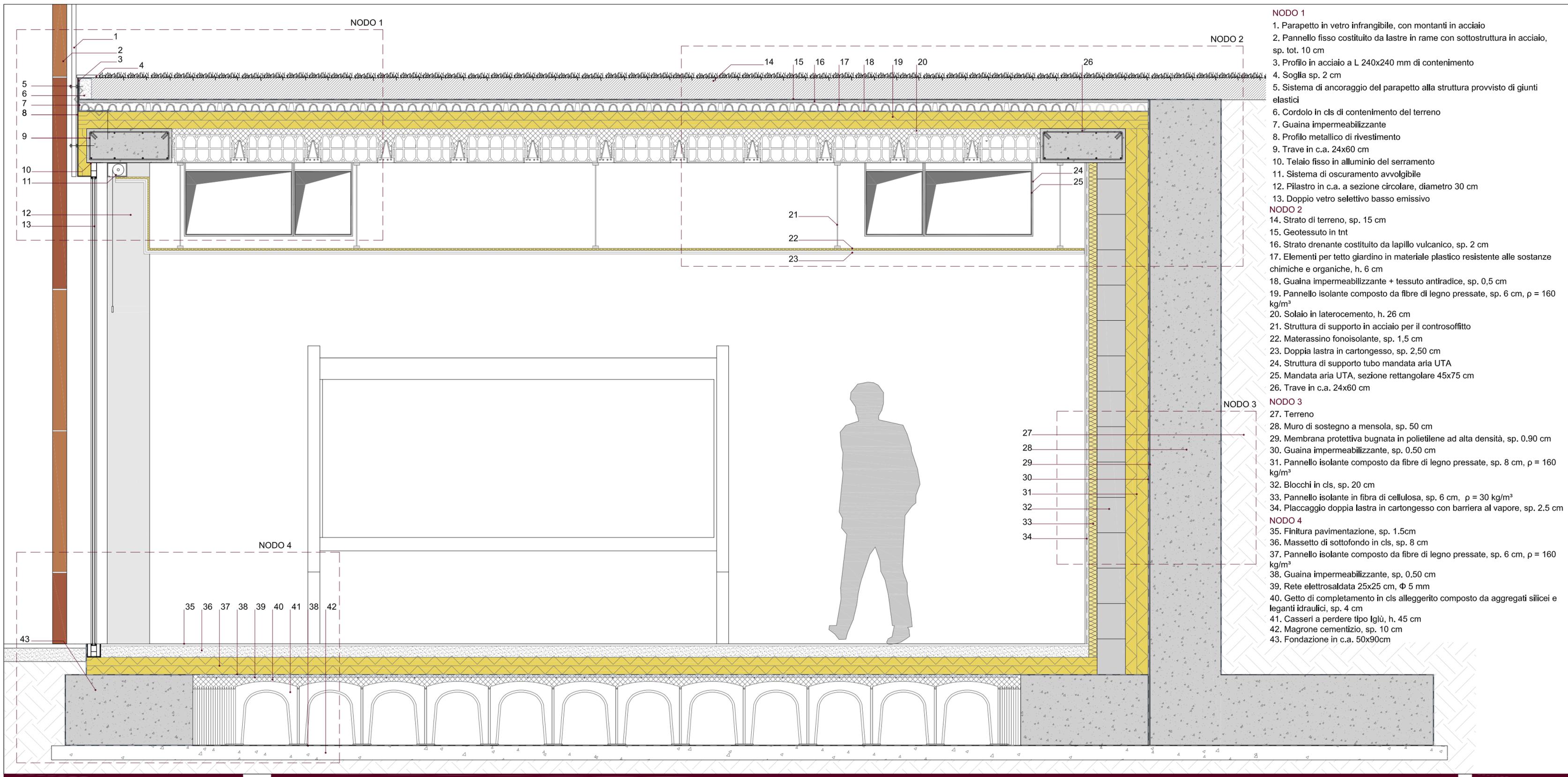
Rivestimento esterno verticale:

9. Montante scatolare In acciaio orizzontale per il fissaggio del sistema di rivestimento
10. Montante scatolare in acciaio per il fissaggio del sistema rivestimento
11. Piastra in acciaio per il fissaggio del sistema di scolo dell'acqua meteorica
12. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
13. Muro portante in c.a. sp. 0,40 cm
14. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma, sp. 43 mm
15. Intercapedine d'aria, sp. 3 cm
16. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

Controsoffitto:

17. Montante portante del controsoffitto
18. Materassino fonoisolante, sp. 1,5 cm
19. Lastra in cartongesso, sp. 1,25 cm





NODO 1

- 1. Parapetto in vetro infrangibile, con montanti in acciaio
- 2. Pannello fisso costituito da lastre in rame con sottostruttura in acciaio, sp. tot. 10 cm
- 3. Profilo in acciaio a L 240x240 mm di contenimento
- 4. Soglia sp. 2 cm
- 5. Sistema di ancoraggio del parapetto alla struttura provvisto di giunti elastici
- 6. Cordolo in cls di contenimento del terreno
- 7. Guaina impermeabilizzante
- 8. Profilo metallico di rivestimento
- 9. Trave in c.a. 24x60 cm
- 10. Telaio fisso in alluminio del serramento
- 11. Sistema di oscuramento avvolgibile
- 12. Pilastro in c.a. a sezione circolare, diametro 30 cm
- 13. Doppio vetro selettivo basso emissivo

NODO 2

- 14. Strato di terreno, sp. 15 cm
- 15. Geotessuto in tnt
- 16. Strato drenante costituito da lapillo vulcanico, sp. 2 cm
- 17. Elementi per tetto giardino in materiale plastico resistente alle sostanze chimiche e organiche, h. 6 cm
- 18. Guaina impermeabilizzante + tessuto antiradice, sp. 0,5 cm
- 19. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
- 20. Solaio in laterocemento, h. 26 cm
- 21. Struttura di supporto in acciaio per il controsoffitto
- 22. Materassino fonoisolante, sp. 1,5 cm
- 23. Doppia lastra in cartongesso, sp. 2,50 cm
- 24. Struttura di supporto tubo mandata aria UTA
- 25. Mandata aria UTA, sezione rettangolare 45x75 cm
- 26. Trave in c.a. 24x60 cm

NODO 3

- 27. Terreno
- 28. Muro di sostegno a mensola, sp. 50 cm
- 29. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0.90 cm
- 30. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
- 31. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
- 32. Blocchi in cls, sp. 20 cm
- 33. Pannello isolante in fibra di cellulosa, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
- 34. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

NODO 4

- 35. Finitura pavimentazione, sp. 1.5cm
- 36. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm
- 37. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
- 38. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
- 39. Rete elettrosaldata 25x25 cm, $\Phi 5 \text{ mm}$
- 40. Getto di completamento in cls alleggerito composto da aggregati silicei e leganti idraulici, sp. 4 cm
- 41. Casseri a perdere tipo Iglù, h. 45 cm
- 42. Magrone cementizio, sp. 10 cm
- 43. Fondazione in c.a. 50x90cm



14.5 Verifiche prestazionali

Un buon progetto tecnologico non esula dalle verifiche prestazionali. Tali verifiche sono state eseguite tramite l'utilizzo del software JVap, graficando l'andamento delle temperature e delle pressioni all'interno della stratigrafia oggetto di studio.

Per ogni stratigrafia di progetto è stata verificata la trasmittanza termica (inferiore al limite di normativa) e l'eventuale presenza di condensa interstiziale.

Di seguito vengono riportate le schede delle verifiche prestazionali di ogni pacchetto tecnologico.



VERIFICHE PRESTAZIONALI		Codice CO_01p															
UNITA' TECNOLOGICA		ELEMENTO TECNICO															
Chiusura Orizzontale		Solai Controtterra Auditorium															
		Legenda: 1. Finitura pavimentazione, sp. 1,5cm 2. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm 3. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 4. Guaina Impermeabilizzante, sp. 0,50 cm 5. Rete elettrosaldata 25x25 cm, Φ 5 mm 6. Getto di completamento in cls alleggerito composto da aggregati silicei e leganti idraulici, sp. 4 cm 7. Casseri a perdere tipo Iglu, h. 27 cm 8. Platea di fondazione, sp. 40 cm 9. Magrone cementizio, sp. 10 cm															
PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI																	
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]												
	1/he R. termica di emissione		0,04														
CLS	CLS per sottofondi non aerati - densità 1700 kg/m ³	0,10	0,0794	150,00	15,00												
IMP	Cartone catramato	0,005	0,01	5000,00	25,00												
CLS	CLS per pareti esterne – densità 2400	0,40	0,1854	150,00	60,00												
INA	Camera debolmente ventilata sp. mm 300	0,30	0,115	1,00	0,30												
IMP	Cartone catramato	0,005	0,01	5000,00	25,00												
ALI	CELENIT FL/150 60	0,06	1,5	5,00	0,30												
ALI	CELENIT FL/150 60	0,06	1,5	5,00	0,30												
CLS	CLS per sottofondi non aerati - densità 1100 kg/m ³	0,10	0,1724	90,00	9,00												
	1/hi R. termica di ammissione		0,17														
	Resistenza TOT. [m²K/W]			3,7821													
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,2644													
ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)																	
RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE																	
Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]															
Novembre	24,2	24,2	<table border="1"> <tr> <td>INA</td> <td>Sup. est.</td> </tr> <tr> <td>PLA</td> <td>Interf. 1</td> </tr> <tr> <td>ALI</td> <td>Interf. 2</td> </tr> <tr> <td>ALI</td> <td>Interf. 3</td> </tr> <tr> <td>ALI</td> <td>Interf. 4</td> </tr> <tr> <td>CLS</td> <td>Sup. int.</td> </tr> </table>			INA	Sup. est.	PLA	Interf. 1	ALI	Interf. 2	ALI	Interf. 3	ALI	Interf. 4	CLS	Sup. int.
INA	Sup. est.																
PLA	Interf. 1																
ALI	Interf. 2																
ALI	Interf. 3																
ALI	Interf. 4																
CLS	Sup. int.																
Dicembre	40,2	64,39															
Gennaio	44,09	108,48															
Febbraio	36,53	145,01															
Marzo	18,68	163,69															
Aprile	-4,03	159,66															
Maggio	-27,2	132,46															
RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI																	
Mese critico:		Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831															
Resistenza termica minima accettabile:		2,1385 m ² K/W															
Resistenza termica totale dell'elemento:		3,7821															
Condensa:		presente ma inferiore al valore limite (500 g/m ²)															



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CO_02p

UNITA' TECNOLOGICA	ELEMENTO TECNICO
Chiusura Orizzontale	Solaio di copertura auditorium

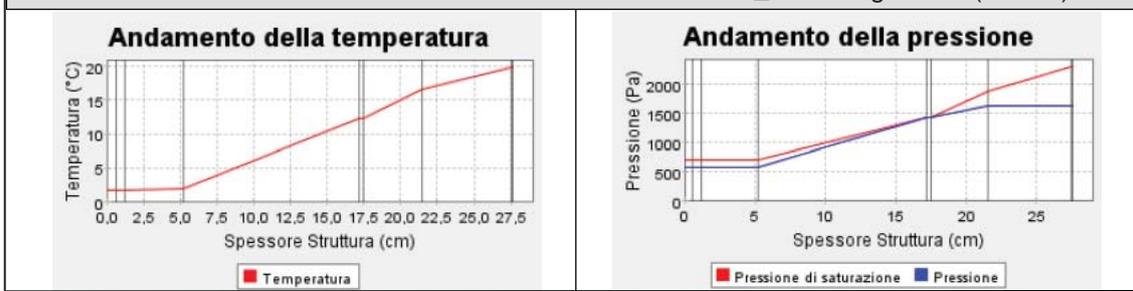
Legenda:

1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante scatolare in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Pannello isolante tipo "Isotec XL" con applicata lamina di alluminio impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Materassino fonoscalante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma tipo "Isotec X42", sp. 43 mm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celent", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Pannello in legno OSB, sp. 1,5 cm
8. Lamiera grecata in acciaio, h. 5,50 cm, sp. 1 mm
9. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
10. Trave reticolare, h. 1,20 m

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,04		
MET	Rame	0,006	0,00	2000000,00	12000,0001
MET	Rame	0,006	0,00	2000000,00	12000,0001
IAR	Intercapedine ventilata	0,04	0,105	1,00	0,04
ISO	Pannelli Isotec XL	0,12	5,00	1000000000,00	119999997,317
ISO	Pannello X42 (gomma)	0,003	0,0188	1000000,00	3000,00
ISO	Pannello X42 (poliuretano)	0,04	2,00	1000000,00	39999,9991
ALI	VITAL 60	0,06	1,60	3,00	0,18
LAM	Lamiera grecata	0,001	0,0001	2000000,00	2000,0001
	1/hi R. termica di ammissione		0,10		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			8,8639	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1128	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]
Novembre	0	0
Dicembre	0	0
Gennaio	0	0
Febbraio	0	0
Marzo	0	0
Aprile	0	0
Maggio	0	0

Accumulo condensa

INA	Sup. est.
PLA	Interf. 1
ALI	Interf. 2
ALI	Interf. 3
ALI	Interf. 4
CLS	Sup. int.

RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

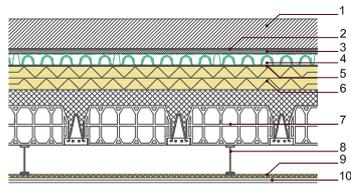
Mese critico: **Gennaio**, con fattore di temperatura **0,8831**
 Resistenza termica minima accettabile: **2,1385 m²K/W**
 Resistenza termica totale dell'elemento: **8,8639**
 Condensa: **non presente**



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CO_03p

UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTO TECNICO

Chiusura Orizzontale Tetto giardino

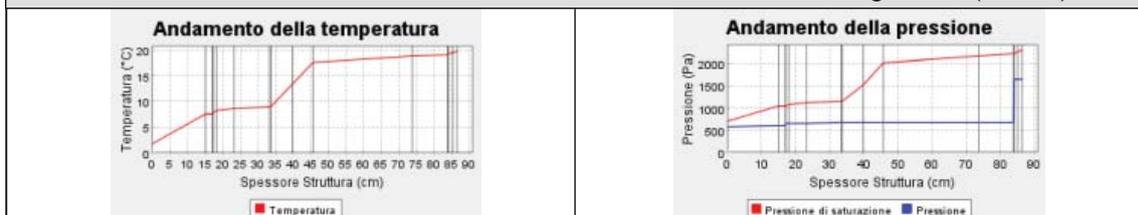


1. Strato di terreno, sp. 15 cm
2. Geotessuto In Int
3. Strato drenante costituito da lapilli vulcanici, sp. 2 cm
4. Elementi per tetto giardino tipo "Geodren" in materiale plastico resistente alle sostanze chimiche e organiche, h. 6 cm
5. Guaina impermeabilizzante + tessuto antiradice, sp. 0,5 cm
6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
7. Solaio in laterocemento, h. 28 cm
8. Struttura di supporto in acciaio per il controsoffitto
9. Materassino fonoisolante, sp. 1,5 cm
10. Doppia lastra in cartongesso, sp. 2,50 cm

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m²K/W]	Fattore di res. al vapore (μ)	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,04		
TER	Terreno	0,15	0,15	200,00	30,00
ROC	Lava	0,02	0,02	20,00	0,40
PLA	Polietilene (PE)	0,002	0,002	100000,00	200,00
INA	Camera non ventilata sp. mm 10	0,01	0,01	1,00	0,01
INA	Camera non ventilata sp. mm 50	0,05	0,05	1,00	0,05
CLS	CLS per sottofondi non aerati	0,10	0,10	150,00	15,00
IMP	Cartone catramato	0,005	0,005	5000,00	25,00
ALI	CELENIT FL/150 60	0,06	0,06	5,00	0,30
ALI	CELENIT FL/150 60	0,06	0,06	5,00	0,30
LAT	Solaio latero cemento 28cm	0,28	0,28	15,00	4,20
INA	Camera debolmente ventilata	0,10	0,10	1,00	0,10
ISO	Pannello X42 (gomma)	0,003	0,003	1000000,00	3000,00
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,0125	8,40	0,105
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,0125	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,10		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,3208	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1582	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENZA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m²]	Condensa accumulata [g/m²]
Novembre	0	0
Dicembre	0	0
Gennaio	0	0
Febbraio	0	0
Marzo	0	0
Aprile	0	0
Maggio	0	0
Giugno	0	0

Accumulo condensa

Condensa (g/m²) vs Mesi

Sup. est. MET

Interf. 1 CAR

Interf. 2 IAR

Interf. 3 ALI

Interf. 4 CLS

Interf. 5 ALI

Interf. 6 CAR

Interf. 7 FRV

Interf. 8 CAR

Sup. int.

RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831
 Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,3208**
 Condensa: non presente



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_01p

UNITA' TECNOLOGICA **ELEMENTO TECNICO**

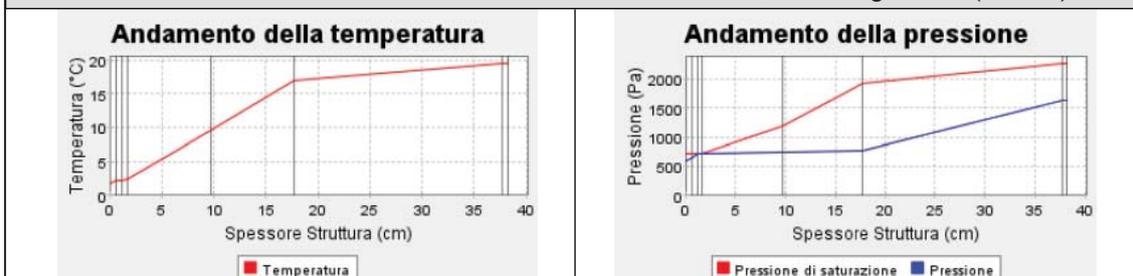
Chiusura Verticale **Muro esterno Foyer**

1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Finitura cls a vista

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		K/W)		
MET	Rame	0,006	0,13	2000000,00	12000,0001
MET	Rame	0,006	0,00	2000000,00	12000,0001
IMP	Bitume	0,005	0,00	20000,00	0,04
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	0,0294	5,00	119999997,317
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	3000,00
CLS	CLS per pareti esterne - densità 900 kg/m ³	0,20	2,00	70,00	39999,9991
CLS	CLS generico – densità 1000 kg/m ³	0,005	0,6993	50,00	2000,0001
	1/hi R. termica di ammissione		0,0132		
	Resistenza TOT. [m²K/W]		0,13	5,0019	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1999	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]	
Novembre	18,66	19,27	<div style="text-align: center;"> <p>Accumulo condensa</p> </div> <div style="font-size: small; margin-top: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> Sup. est. CLS Interf. 1 MEP Interf. 2 IMP Interf. 3 ALI Interf. 4 ALI Interf. 5 MUR Interf. 6 ALI Interf. 7 CAR Interf. 8 Sup. int. </div>
Dicembre	29,02	48,3	
Gennaio	31,53	79,82	
Febbraio	26,9	106,73	
Marzo	15,32	122,05	
Aprile	0,61	122,65	
Maggio	-14,57	108,09	
Giugno	-222,25	0	

RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

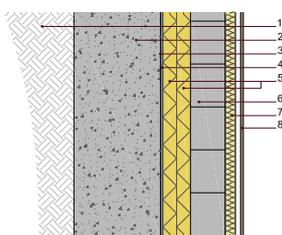
Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831
 Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **5,0019**
 Condensa: presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_02p

UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTO TECNICO

Chiusura Verticale Muro controterra palco



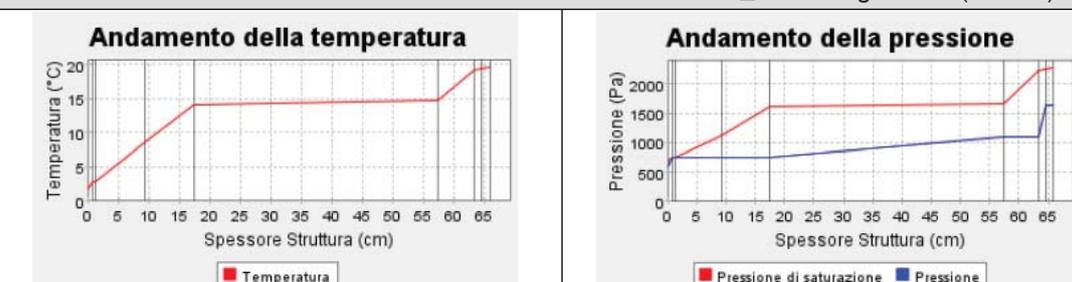
Legenda:

1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
4. Gusina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

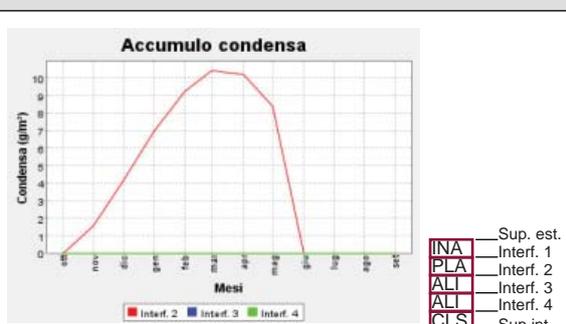
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m²K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,04		
MEP	Membrana bugnata in polietilene	0,009	0,35	100000,00	900,00
IMP	Cartone catramato	0,005	0,01	5000,00	25,00
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
CLS	CLS per pareti esterne non protette –	0,40	0,1854	150,00	60,00
ALI	VITAL 60	0,06	1,60	3,00	0,18
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	0,0625	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,09	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,13		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,4679	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1546	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m²]	Condensa accumulata [g/m²]
Novembre	1,58	1,58
Dicembre	2,56	4,14
Gennaio	2,79	6,93
Febbraio	2,31	9,24
Marzo	1,21	10,44
Aprile	-0,27	10,18
Maggio	-1,81	8,36



RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

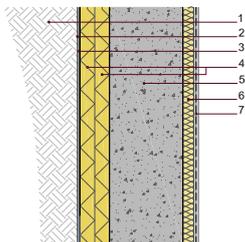
Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831
 Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,4679**
 Condensa: presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_03p

UNITA' TECNOLOGICA **ELEMENTO TECNICO**

Chiusura Verticale **Muro controterra laterale**

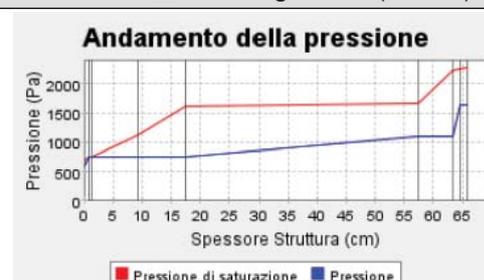


- Legenda:**
1. Terreno
 2. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0.90 cm
 3. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm
 4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 5. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
 6. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
 7. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2.5 cm

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

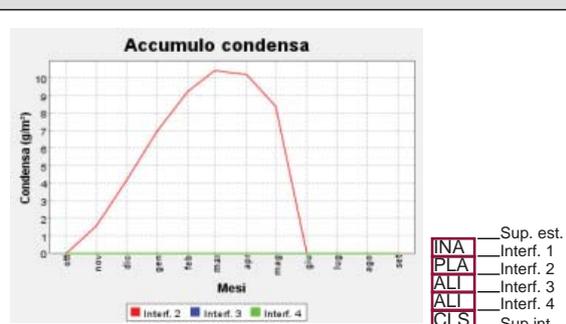
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,04		
MEP	Membrana bugnata in polietilene	0,009	0,35	100000,00	900,00
IMP	Cartone catramato	0,005	0,01	5000,00	25,00
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
CLS	CLS per pareti esterne non protette	0,40	0,1854	150,00	60,00
ALI	VITAL 60	0,06	1,60	3,00	0,18
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	0,0625	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,09	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,13		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,4679	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1546	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]
Novembre	1,58	1,58
Dicembre	2,56	4,14
Gennaio	2,79	6,93
Febbraio	2,31	9,24
Marzo	1,21	10,44
Aprile	-0,27	10,18
Maggio	-1,81	8,36



RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

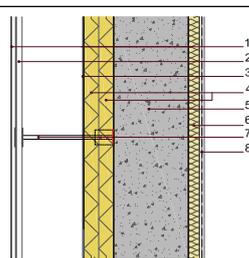
Mese critico: **Gennaio**, con fattore di temperatura **0,8831**
 Resistenza termica minima accettabile: **2,138 m²K/W**
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,4679**
 Condensa: **presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)**



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_04p

UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTO TECNICO

Chiusura Verticale Parete laterale auditorium



- Legenda:
1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", Installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
 2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
 3. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
 4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 5. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
 6. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
 7. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
 8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

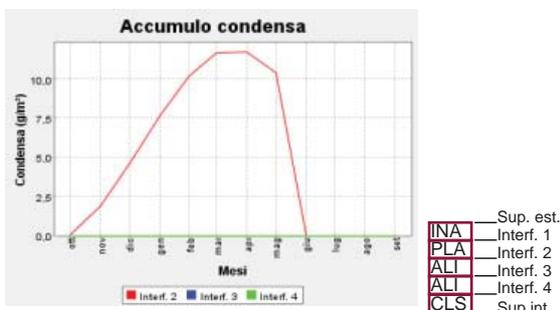
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,13		
MET	Rame	0,006	0,00	2000000,00	12000,0001
MET	Rame	0,006	0,00	2000000,00	12000,0001
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
CLS	CLS per pareti esterne non protette –	0,40	0,1854	150,00	60,00
ALI	VITAL 60	0,06	1,60	3,00	0,18
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	0,0625	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,09	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,13		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,1979	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1613	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]
Novembre	1,79	1,87
Dicembre	2,77	4,63
Gennaio	3	7,63
Febbraio	2,56	10,2
Marzo	1,47	11,67
Aprile	0,07	11,74
Maggio	-1,38	10,36



RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

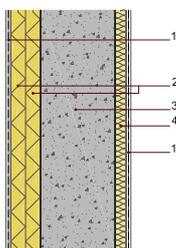
Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831
 Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,1979**
 Condensa: presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_06p

UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTO TECNICO

Chiusura Verticale Muro auditorium esposizione



- Legenda:
1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm
 2. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 3. Calcestruzzo armato, sp. 40 cm
 4. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

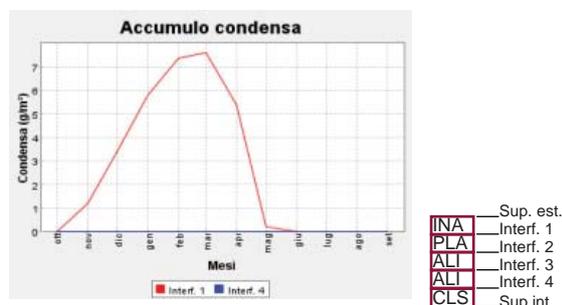
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		\approx K/W)		
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	0,04	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,0625	8,40	0,105
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	0,09	5,00	0,40
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
CLS	CLS per pareti esterne non protette	0,40	2,00	150,00	60,00
ALI	VITAL 60	0,06	0,1854	3,00	0,18
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	1,60	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,0625	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,09		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,2604	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1597	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENZA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]
Novembre	1,17	1,17
Dicembre	2,22	3,39
Gennaio	2,41	5,8
Febbraio	1,56	7,36
Marzo	0,26	7,62
Aprile	-2,25	5,37
Maggio	-5,18	0,19



RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

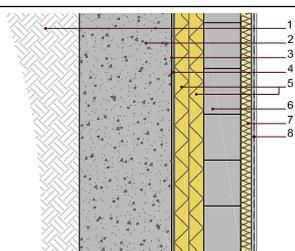
Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831
 Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,2604**
 Condensa: presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)



VERIFICHE PRESTAZIONALI Codice CV_07p

UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTO TECNICO

Chiusura Verticale Muro controterra esposizione

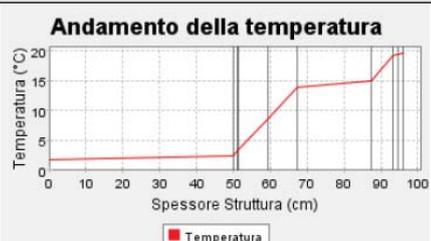


- Legenda:
1. Terreno
 2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
 3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
 4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
 5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
 7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
 8. Placcaggio doppia lastra in cartongesso con barriera al vapore, sp. 2,5 cm

PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI

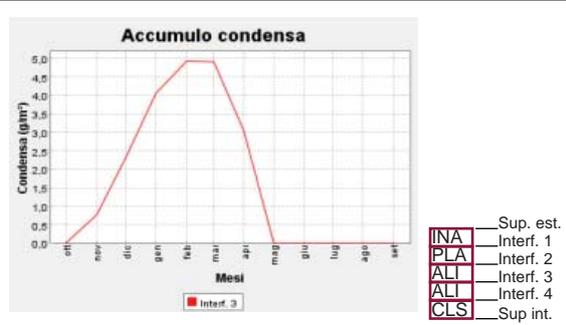
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m²K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		0,04		
CLS	CLS per pareti esterne non protette	0,50	0,2317	150,00	75,00
MEP	Membrana bugnata in polietilene a	0,009	0,35	100000,00	900,00
IMP	Cartone catramato	0,005	0,01	5000,00	25,00
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	2,00	5,00	0,40
MUR	Laterizi alveolati sp.20 cm.rif.1.1.07	0,20	0,47	10,00	2,00
ALI	VITAL 60	0,06	1,60	3,00	0,18
CAR	Idrolastra in cartongesso con b.v.	0,0125	0,0625	7900,00	98,75
CAR	Lastra in cartongesso	0,0125	0,09	8,40	0,105
	1/hi R. termica di ammissione		0,13		
	Resistenza TOT. [m²K/W]			6,9842	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,1432	

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA SUPERFICIALE

Mese	Flusso di vapore [g/m²]	Condensa accumulata [g/m²]
Novembre	0,77	0,77
Dicembre	1,55	2,32
Gennaio	1,72	4,04
Febbraio	0,9	4,94
Marzo	-0,04	4,9
Aprile	-1,85	3,04
Maggio	-3,75	0



RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,5717
 Resistenza termica minima accettabile: 0,5837 m²K/W
 Resistenza termica totale dell'elemento: **6,9842**
 Condensa: presente ma inferiore al valore limite (500 g/m²)



VERIFICHE PRESTAZIONALI		Codice POI_02p			
UNITA' TECNOLOGICA	ELEMENTO TECNICO				
Chiusura Orizzontale	Chiusura orizzontale copertura				
	Legenda: 1. Pavimento in legno, sp. 1,5 cm 2. Massetto di sottofondo, sp. 8 cm 3. Lamiera grecata in acciaio, h. 7,5 cm, sp. 1,2 mm 4. Trave secondaria in acciaio, HEB 160 5. Trave reticolare in acciaio, h.1,20 m 6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 7. Freno al vapore tipo "Celenit FV/160" 8. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$				
PRESTAZIONI DEI MATERIALI UTILIZZATI					
Cat.	Descrizione del materiale	Spessore [m]	Resistenza termica R [m ² K/W]	Fattore di res. al vapore [μ]	Sp. Eq. aria [m]
	1/he R. termica di emissione		\approx K/W)		
LEG	Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri	0,015	0,04	70,00	1,05
LAM	Lamiera grecata	0,001	0,0833	2000000,00	2000,0001
CLS	CLS per sottofondi non aerati	0,08	0,0001	150,00	12,00
CLS	CLS generico – densità 1900 kg/m ³	0,06	0,0635	95,00	5,70
INA	Camera debolmente ventilata sp. mm 300	0,30	0,0566	1,00	0,30
ALI	CELENIT FL/150 80	0,08	0,115	5,00	0,40
FRV	CELENIT FV/160	0,0002	2,00	15000,00	3,00
ALI	CELENIT FL/150 60	0,06	0,0015	5,00	0,30
	1/hi R. termica di ammissione		1,50		
	Resistenza TOT. [m²K/W]		0,10	3,96	
	Trasmittanza TOT. [W/m²K]			0,2525	
ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI_mese di gennaio (Glaser)					
RISULTATI CONDENZA SUPERFICIALE					
Mese	Flusso di vapore [g/m ²]	Condensa accumulata [g/m ²]			
Novembre	0	0			
Dicembre	109,5	109,5			
Gennaio	201,9	311,5			
Febbraio	35,21	346,7			
Marzo	-322,	24,1			
Aprile	-697,	0			
Maggio	0	0			
RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI					
Mese critico:	Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831				
Resistenza termica minima accettabile:	2,1385 m ² K/W				
Resistenza termica totale dell'elemento:	3,9600				
Condensa:	presente ma inferiore al valore limite (500 g/m ²)				



Approfondimento Acustico



15. Premessa

L'aspetto acustico per la progettazione di un auditorium è un fattore da non sottovalutare. Infatti, è necessario garantire all'interno della sala un confort acustico accettabile. Per questo motivo, bisogna, già in fase di progettazione, evitare o eliminare la propagazione dei rumori (voci dall'esterno, impianti di ventilazione) e gestire al meglio il suono all'interno dell'edificio.

15.1. Le onde sonore: il rumore

Un'onda è una perturbazione, periodica o impulsiva, che si propaga con una definita velocità. Le onde si originano da una sorgente che produce la perturbazione. Esistono vari tipi di onde: di origine meccanica, sismica o quelle che si generano sulla superficie di un liquido. Questi tipi di onde si possono propagare solo in presenza di un mezzo, a differenza delle onde elettromagnetiche che si possono propagare anche nel vuoto.

Quindi, il rumore, rappresenta un insieme di vibrazioni sonore (onde) che corrispondono a delle variazioni della pressione dell'aria udibili da parte dell'uomo. L'onda sonora di per sé non trasporta materia, ma energia e quantità di moto. Per questo, per attenuare il rumore, bisogna trasformare l'energia sonora in calore; questo cambiamento si realizza attraverso l'assorbimento da parte delle superfici degli ambienti che lo delimitano.

Da un punto di vista morfologico l'orecchio umano è diviso in tre parti: orecchio esterno, medio ed interno. Il padiglione auricolare consente di individuare la provenienza del suono, invece, il timpano vibra a causa della pressione acustica dovuta al suono incidente. L'orecchio esterno e medio devono trasmettere le variazioni di pressione dell'aria all'orecchio interno. L'orecchio medio è in grado di "difendersi" dai suoni molto intensi, irrigidendo il muscolo timpanico, evitando così che il timpano si deformi troppo.

Il livello sonoro si esprime in Decibel (dB) ed indica l'intensità di un rumore o suono in rapporto ad una scala di riferimento. Il suono verrà percepito a partire da un valore di intensità pari a $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ (soglia di udibilità, 0 dB), se aumentiamo l'intensità del suono con continuità, esso verrà percepito sempre più intenso fino a raggiungere una sensazione dolorosa (soglia del dolore, 120 dB) e ciò avviene per un'intensità pari a $I_D = 1 \text{ Wm}^{-2}$. Come accennato precedentemente l'intensità si esprime in scala logaritmica a partire da un livello di riferimento convenzionale (I_0) e viene espressa nella cosiddetta scala dei decibel:

$$I_{\text{dB}} = 10 \log (I/I_0)$$

La trasmissione del suono negli ambienti chiusi può avvenire in due modi: una sorgente sonora mette in vibrazione l'aria in un ambiente e lo trasmette nell'altro per via aerea, oppure, a causa di impatti e vibrazioni dovuti ad una sorgente a diretto contatto con le strutture. Quindi si possono considerare tre tipologie di rumore:

- rumore aereo, che si propaga nell'aria contenuta nell'ambiente e può provenire da altri ambienti o dall'esterno;
- rumore d'impatto, che deriva da azioni meccaniche sull'involucro, ad esempio il calpestio;
- rumore da impianti.

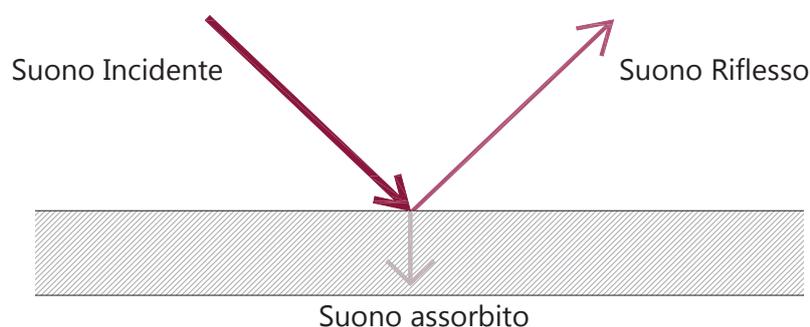


15.2. Isolamento acustico

Per proteggere l'edificio dal rumore occorre che la qualità acustica sia presa in considerazione fin dalla fase di progettazione, partendo dalla destinazione d'uso e dalla tipologia di edificio, per arrivare ad adottare soluzioni costruttive che tengano conto degli effettivi livelli prestazionali richiesti.

L'isolamento acustico è la capacità di ridurre l'energia acustica che si propaga per via aerea. Ad esempio l'incidenza di un fronte d'onda acustico su un divisorio produce una complessa fenomenologia: l'energia propagatasi per via aerea viene trasformata in vibrazione meccanica della struttura, che a sua volta si ritrasforma in parte in energia acustica che viene in parte riflessa e in parte trasmessa. Parte dell'energia meccanica viene dissipata in calore e in parte viene trasmessa per via solida ad altre strutture, da dove può essere di nuovo irraggiata come energia acustica nell'ambiente ricevente.

Fig. 151. -
Assorbimento del
suono.



L'energia assorbita da un materiale è la differenza tra energia incidente ed energia riflessa. Il coefficiente di assorbimento α , che è tipico di ogni materiale, è il rapporto tra energia assorbita ed energia incidente e dipende dall'angolo di incidenza e dalla frequenza.

Di particolare rilevanza sono i seguenti coefficienti:

- Coefficiente di trasmissione τ ¹: rapporto tra intensità sonora trasmessa e intensità incidente;
- Coefficiente di assorbimento α : rapporto tra intensità sonora assorbita e intensità incidente.

Di conseguenza, il *potere fonoisolante* viene espresso in scala logaritmica ed è definito:

$$R(\theta) = 10 \log(1/\tau(\theta))$$

Questo parametro descrive la sua attitudine a ridurre la trasmissione di energia sonora. Viene utilizzato per scegliere i materiali durante la progettazione architettonica.

Altri parametri, oltre al potere fonoisolante, che descrivono le capacità fonoisolanti dei materiali sono il *potere fonoisolante apparente* R' e l'*isolamento acustico*. Il *potere fonoisolante apparente*, a differenza di R , tiene conto anche dell'energia acustica trasmessa lateralmente attraverso le strutture che delimitano l'elemento.

L'isolamento acustico esprime la differenza di livello sonoro che si riscontra tra due ambienti contigui. È un parametro utilizzato per il collaudo acustico, poiché descrive il comportamento dell'elemento in rapporto alle strutture circostanti.

¹ In genere τ è in funzione dell'angolo d'incidenza.



La Normativa italiana², come quella UNI, assegna dei limiti massimi per i parametri acustici, in base alla destinazione d'uso dell'edificio. L'edificio in esame è classificato in categoria F: edifici adibiti ad attività ricreativa ed affini.

CLASSIFICAZIONE AMBIENTI ABITATIVI	R'_w	$D_{2m,nT,W}$	$L'_{n,W}$
Categoria F	50	42	55

Dove:

R'_w è il potere fonoisolante apparente delle partizioni tra ambienti, facendo ricorso ad un'apposita procedura normalizzata;

$D_{2m,nT,W}$ indica l'isolamento acustico standardizzato di facciata;

$L'_{n,W}$ è il livello di calpestio normalizzato.

15.3. Calcolo del tempo di riverberazione della sala

Come accennato precedentemente, il raggiungimento di condizioni acustiche ottimali per un ambiente chiuso, è un problema complesso, in cui giocano un ruolo importante la forma dell'ambiente, il volume, il soffitto, le pareti e i materiali utilizzati per i rivestimenti. Inoltre le caratteristiche ottimali della sala dipendono dall'uso per la quale è destinata: il parlato, l'orchestra, l'opera o la musica da camera.

La progettazione acustica riguarderà il calcolo del tempo di riverberazione dell'auditorium destinato al parlato.

Il concetto di riverberazione del suono da parte dell'ambiente è di fondamentale importanza. Infatti il suono che raggiunge l'ascoltatore R proveniente dalla sorgente S per via diretta è solo una parte di quello percepito complessivamente, in quanto occorre considerare anche le onde riflesse dal pavimento, soffitto o pareti. Ciò significa che quando la sorgente si spegne si avrà un certo periodo di tempo transitorio in cui l'ascoltatore riceverà ancora parte dei suoni, creando un effetto di eco. Possiamo dedurre quindi che la riverberazione può portare ad effetti utili quanto dannosi, in quanto maggiore è il tempo di riverberazione, maggiore è l'eco all'interno dell'ambiente. Proprio per questo motivo la progettazione della sala dovrà tener conto della necessità di un rinforzo del suono con una corretta durata delle code sonore.

Il tempo di riverberazione ottimale per le sale conferenze destinate al parlato si aggira intorno a 1 s.

Tipo di rappresentazione	T_{60}
Lettura, dramma	< 1 s
Teatro d'opera	1.2 - 1.8 s
Sala per la musica da camera	1.4 - 2 s
Sala da concerto	1.7 - 2.3 s
Chiese	2 - 4 s
Musica sinfonica	2 s
Musica per coro e orchestra	> 2 s

Tab. 15.1. - Tempo di riverberazione T_{60} in base alla destinazione d'uso della sala.

Per caratterizzare quantitativamente la rapidità di estinzione del campo sonoro riverberato si introduce il tempo di riverberazione T_{60} , definito come il tempo

² Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 05/12/1997, "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici".



necessario affinché la densità di energia sonora diminuisca di 60 dB a partire dal transitorio di estinzione ed è calcolato tramite la formula di Sabine:

$$T_{60} = 0,16 * (V/A)$$

dove:

V è il volume della sala [m³];

A è dato dalla sommatoria della superficie i-esima per il proprio coefficiente di assorbimento a_i [sabin metrici o m²]³.

$$A = \sum a_i$$

A partire dai dati iniziali: volume della sala e superfici delle varie pareti e dalla scelta dei vari materiali che costituiscono l'auditorium, è stato possibile calcolare il tempo di riverberazione.

Dati iniziali:

Tab. 15.2. - Volume e superfici della sala dell'auditorium.

Volume sala	3023,80	m ³
Superfici involucro sala		
Pareti laterali (platea)	299,20	m ²
Pareti laterali (galleria)	194,00	m ²
Parete opposta al palco	110,00	m ²
Parete palco	54,00	m ²
Soffitto	500,00	m ²
Pavimento	500,00	m ²
Poltroncine	470	Numero
Sup. totale	1657	m ²

Prima di procedere con il calcolo del tempo di riverberazione applicando alle varie superfici il materiale scelto di progetto, è stata eseguita un'analisi utilizzando per tutte le superfici il calcestruzzo (materiale riflettente). Si sono ottenuti i seguenti tempi di riverberazione alle varie frequenze.

Tab. 15.3. - Tempo di riverberazione con sala completamente in calcestruzzo.

Frequenza [Hz]	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	8,23	5,31	4,74
250	4,74	2,86	2,52
500	2,94	2,23	2,06
1000	2,94	2,23	2,06
2000	2,94	2,06	1,87
4000	2,35	2,00	1,91

Si nota come i valori di T₆₀ per la sala completamente in calcestruzzo siano molto elevati rispetto ai valori ottimali per una sala destinata al parlato⁴.

Per ovviare a questo problema, sono stati assegnati e scelti diversi materiali per il rivestimento della sala. Di conseguenza sono stati definiti i coefficienti di assorbimento a_i.

³ 1 sabin metrico corrisponde a 1 m² di un assorbitore perfetto (avente coefficiente di assorbimento unitario).

⁴ Tempi di riverberazione ottimali per sale destinate al parlato si aggirano intorno a 1 secondo.



Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Calcestruzzo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Poltrona imbottita non occupata	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,35
Poltrona imbottita occupata	0,2	0,4	0,45	0,45	0,5	0,45
Rivestimento in pannelli di legno	0,3	0,2	0,15	0,1	0,15	0,1
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Materassino in lana di vetro sp. 50 mm	0,2	0,45	0,65	0,75	0,8	0,8
Rivestimento metallico	0,015	0,015	0,03	0,035	0,025	0,035

Tab. 15.4. - Coefficienti di assorbimento dei materiali di progetto.

Si è proceduto con l'analisi acustica della sala alle varie frequenze⁵. Ad ogni superficie è stato assegnato un materiale con un determinato coefficiente di assorbimento.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Pareti laterali (platea)	89,76	59,84	44,88	29,92	44,88	29,92
Pareti laterali (galleria)	1,94	1,94	3,88	3,88	3,88	5,82
Parete di fondo	22,06	49,63	71,68	82,71	88,22	88,22
Parete palco	0,81	0,81	1,62	1,89	1,35	1,89
Soffitto (pannelli di legno)	150,00	100,00	75,00	50,00	75,00	50,00
Pavimento	20,00	20,00	35,00	30,00	30,00	35,00
Poltroncine	41,20	82,40	123,60	123,60	123,60	144,20
Poltroncine + persone	82,40	164,80	185,40	185,40	206,00	185,40
Per sala semipiena	72,10	144,20	169,95	169,95	185,40	175,10

Tab. 15.5. - Analisi acustica.

L'analisi acustica è stata effettuata per tre differenti situazioni:

- sala vuota
- sala semipiena (75% occupati)
- sala piena

Frequenza [Hz]	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	325,77	356,67	366,97
250	314,62	376,42	397,02
500	355,66	402,01	417,46
1000	322,00	368,35	383,80
2000	366,93	428,73	449,33
4000	355,05	385,95	396,25

Tab. 15.6. - Analisi acustica in base all'occupazione della sala.

Utilizzando i dati precedentemente calcolati è stato possibile determinare il tempo di riverberazione T_{60} tramite la formula di Sabine alle varie frequenze.

Frequenza [Hz]	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	1,49	1,36	1,32
250	1,54	1,29	1,22
500	1,36	1,20	1,16
1000	1,50	1,31	1,26
2000	1,32	1,13	1,08
4000	1,36	1,25	1,22

Tab. 15.7. - Tempo di riverberazione T_{60} (Sabine).

⁵ In seguito verranno considerate le frequenze a 125 Hz e 500 Hz, in quanto sono quelle di maggiore interesse per la correzione acustica.



Si può notare come i valori del T₆₀ si avvicinino di più al valore ottimale che si aggira intorno al secondo. Tuttavia è stato calcolato, inoltre, il coefficiente medio di assorbimento:

$$a_m = \frac{\sum(S_i * a_i)}{\sum S_i}$$

Poichè se si sostituisce ad a_m il valore di 1, cioè il suono viene assorbito dalle pareti, (come in una camera anecoica), la riverberazione è nulla, però il T₆₀ risulta diverso da 0.

Tab. 15.8. - Coefficiente di assorbimento medio.

Frequenza [Hz]	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	0,20	0,22	0,22
250	0,19	0,23	0,24
500	0,21	0,24	0,25
1000	0,19	0,22	0,23
2000	0,22	0,26	0,27
4000	0,21	0,23	0,24

Eyring, quindi, corresse la formula di Sabine attraverso la seguente formula:

$$T_{60} = 0,16 * ((V / (-\ln(1 - a_m) * S)))$$

I valori corretti risultano:

Tab. 15.9. - Tempo di riverberazione T₆₀ (Eyring).

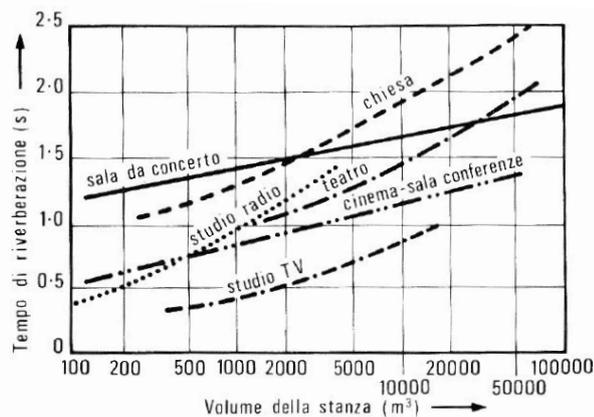
Frequenza [Hz]	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	1,33	1,20	1,17
250	1,39	1,13	1,07
500	1,21	1,05	1,01
1000	1,35	1,16	1,11
2000	1,17	0,98	0,92
4000	1,21	1,10	1,07

Per le sale conferenza i valori dei tempi di riverberazione ottimali sono:

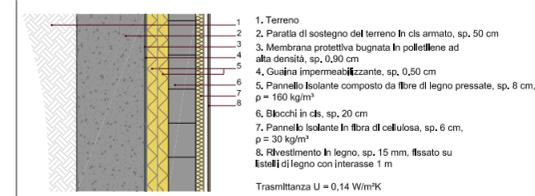
T₆₀ = 1,2 s per frequenza 500/1000 Hz

T₆₀ = 1,7 s per frequenza 125 Hz

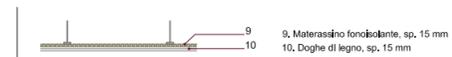
Fig. 15.2. - Valori dei tempi di riverberazione in funzione dell'uso e del volume della sala.



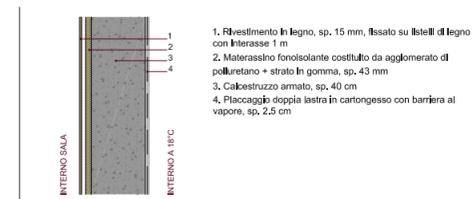
Parete riflettente retro palco
CV_02p



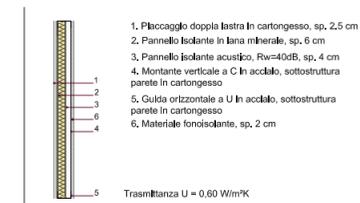
Rivestimento intradosso copertura in legno



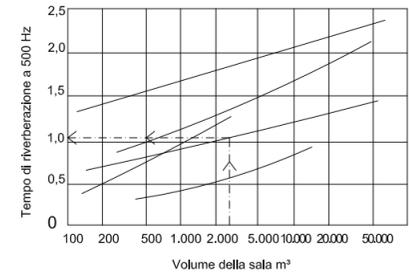
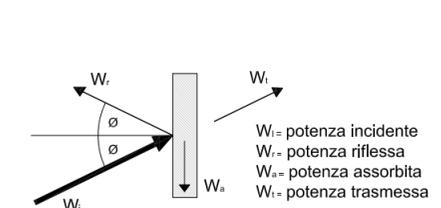
Rivestimento interno in legno
PVI_04p



Parete fonoassorbente
PVI_02p



Ripartizione della potenza sonora assorbente su una parete

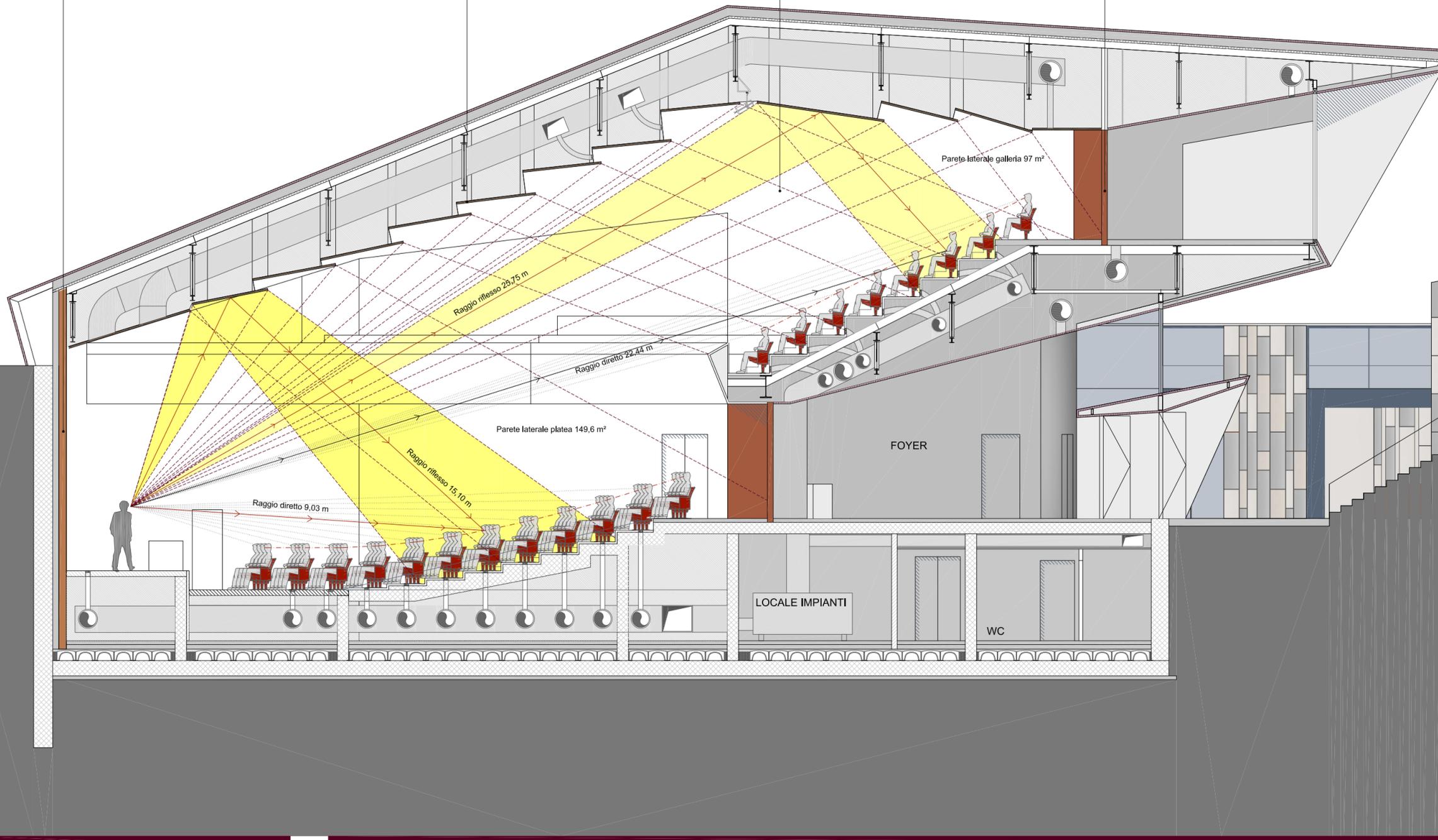


Dati sala

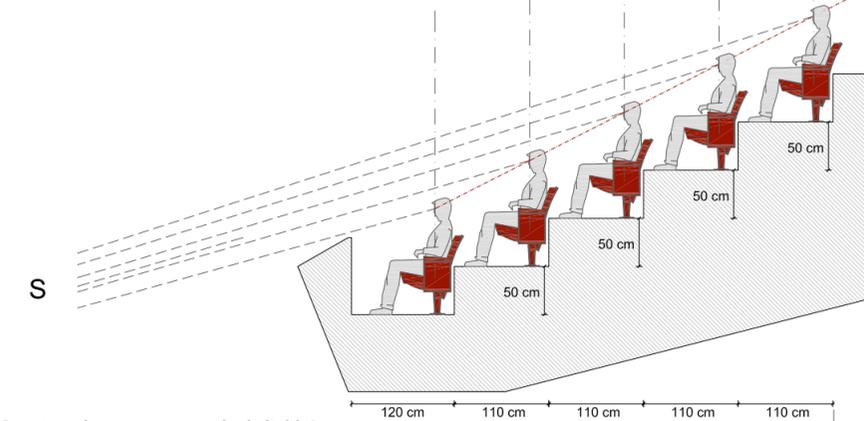
Volume tot.	3.023,8	m³
Pareti laterali platea	299,2	m²
Pareti laterali galleria	194,0	m²
Pareti di fondo	110,0	m²
Parete palco	54,0	m²
Soffitto	500,0	m²
Pavimento	500,0	m²
Poltroncine	470,0	n.
Sup. tot.	1.657,0	m²

T₆₀ calcolati con la formula di Eyring

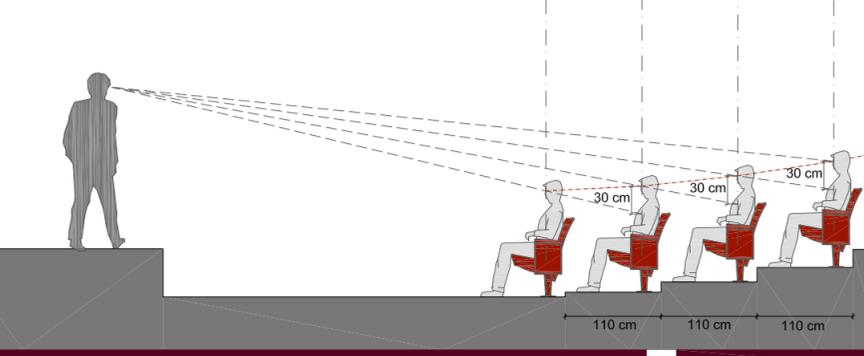
Frequenza Hz	Sala vuota	Sala semipiena	Sala piena
125	1,33	1,20	1,17
250	1,39	1,13	1,07
500	1,21	1,05	1,01
1000	1,35	1,16	1,11
2000	1,17	0,98	0,92
4000	1,21	1,10	1,07



Costruzione curva di visibilità _ galleria



Costruzione curva di visibilità _ platea



Progetto Strutturale



16. Scelte tecniche generali

Gli interventi strutturali di progetto riguardano il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali dell'Auditorium. L'edificio presenta una struttura mista in acciaio e cemento armato. La scelta dell'acciaio, soprattutto nella copertura e zona galleria, è dovuta al fatto che si vuole ottenere una maggiore leggerezza e migliorare il passaggio degli impianti. La parte in c.a., invece, è costituita dai vani scala e dalle pareti laterali che svolgono il ruolo di controvento e parte portante dell'Auditorium.

16.1. Riferimenti normativi

La relazione si sviluppa in accordo con le NTC 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni" contenute dal D.M. 14.01.2008. e con la Circolare n. 617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

Il metodo utilizzato per il calcolo delle strutture è quello degli *Stati Limite*. Il criterio di verifica si propone di controllare che il valore della sollecitazione (determinato con i valori di calcolo dei carichi) sia tale da non superare il valore limite di sollecitazione (determinato sulla base di valori assegnati della resistenza e utilizzando opportuni legami costitutivi σ - ϵ non lineari dei materiali):

$$\text{sollecitazione (Fd)} < \text{resistenza (fd)}$$

I valori di carico e di resistenza sono ottenuti dai valori caratteristici applicando opportuni coefficienti di sicurezza contemporaneamente al materiale e ai carichi.

I valori di resistenza dei materiali hanno una probabilità del 5% di risultare inferiori ai valori caratteristici. I valori caratteristici dei carichi sono quelli con probabilità del 5% di essere superati.

Il procedimento di verifica agli stati limite è il seguente:

- Assegnazione del carico (valore caratteristico moltiplicato per un coefficiente di sicurezza).
- Definizione della resistenza del materiale (valore caratteristico diviso per un coefficiente di sicurezza).
- Determinazione dei valori sollecitanti, con analisi lineare o non lineare.
- Determinazione dei valori resistenti, con legge costitutiva del materiale σ - ϵ non lineare.
- Confronto dei valori sollecitanti delle caratteristiche di sollecitazione con i valori resistenti.

Il metodo degli Stati Limite considera due situazioni:

- Stato Limite Ultimo (SLU), che corrisponde al valore estremo della capacità portante (limite di collasso).
- Stato Limite di Esercizio (SLE), al di là del quale non risultano più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti.

I carichi per SLE hanno una probabilità maggiore di essere superati rispetto a quelli utilizzati per SLU. Negli SLE si considerano condizioni di carico rare, frequenti e quasi permanenti, con valori di carico progressivamente minori.



16.2. Descrizione dei materiali

I materiali scelti per la struttura portante sono l'acciaio e il cemento armato.

L'acciaio previsto per le travi reticolari è quello classificato come S275 dalla UNI EN 10025-2 con le seguenti caratteristiche:

f_{yk} (tensione caratteristica a snervamento)	275	N/mm ²
f_{tk} (tensione caratteristica a rottura)	430	N/mm ²

Il calcestruzzo che si è scelto ha classe di resistenza C45/55¹ con le seguenti caratteristiche:

R_{ck} (resistenza caratteristica)	55	N/mm ²
f_{ck} (resistenza cilindrica a compressione)	45	N/mm ²
f_{cd} (resistenza di progetto)	25,50	N/mm ²

Per il calcolo di f_{cd} si è utilizzato un valore di α_{cc} (coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata) pari a 0,85.

L'acciaio per le armature è il B450C con le seguenti caratteristiche:

f_{yk} (tensione caratteristica a snervamento)	450	N/mm ²
f_{tk} (tensione caratteristica a rottura)	540	N/mm ²
f_{yd} (tensione di progetto)	391,3	N/mm ²

16.3. Analisi dei carichi

Classificazione delle azioni secondo la variazione dell'intensità nel tempo

Le azioni sulle costruzioni definite dalle NTC² possono essere classificate a seconda della variazione della loro intensità nel tempo nel seguente modo:

Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione

- Carichi permanenti strutturali G_1
- Carichi permanenti non strutturali G_2
- Spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione
- Pretensione e precompressione (P)
- Ritiro e viscosità
- Spostamenti differenziali

Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei:

- Di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- Di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve.

¹ La resistenza caratteristica e tutte le grandezze meccaniche e fisiche che hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione preventiva e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità (cfr. NTC).

² Capitolo 3 "Azioni sulle costruzioni".



Eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:

- Incendi
- Esplosioni
- Urti e impatti

Sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite sono state utilizzate le seguenti combinazioni delle azioni:

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

$$Y_{G1} \cdot G_1 + Y_{G2} \cdot G_2 + Y_P \cdot P + Y_{Q1} \cdot Q_{K1} + Y_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + Y_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- *Combinazione frequente*, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \Psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

16.3.1. Analisi dei carichi permanenti non strutturali G_2

Si analizzano i carichi permanenti non strutturali, ciò che non risulta rimovibile durante il normale esercizio della costruzione, di ogni pacchetto strutturale, tenendo in considerazione lo spessore e il peso specifico dei vari materiali.

Chiusura Orizzontale solaio controterra: CO_01p

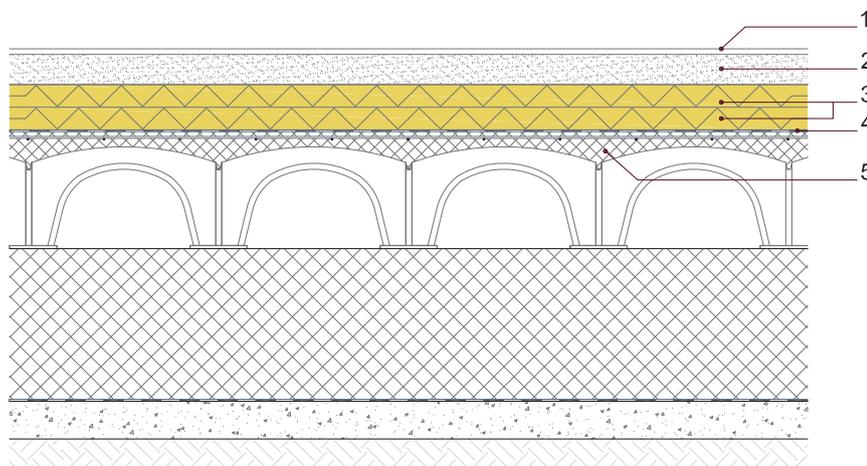


Fig. 16.1. - Stratigrafia solaio controterra: CO_01p

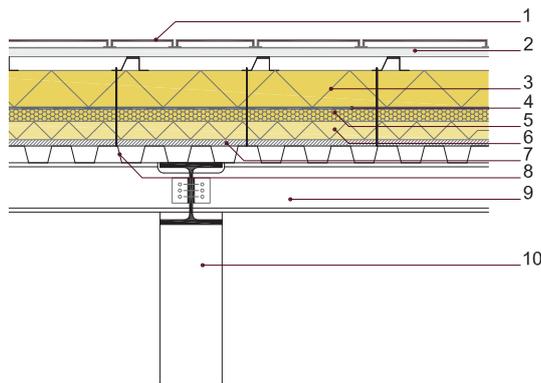
Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m³]	Peso [kN/m²]
Finitura: cls rasato	0,01	16,00	0,160
Massetto di sottofondo	0,08	16,00	1,280
Celenit FL/150	0,12	1,60	0,192
Guaina impermeabile	0,005	-	-
Struttura			
Totale G_2			1,632

Tab. 16.1. - Computo carico G_2 solaio controterra: CO_01p



Fig. 16.2. - Stratigrafia solaio di copertura: CO_02p

Chiusura Orizzontale di copertura: CO_02p



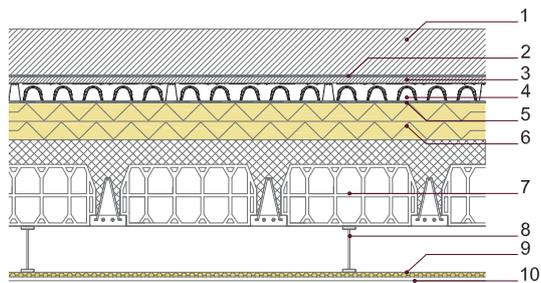
1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante scatolare in alluminio per l'istallazione del rivestimento
3. Pannello isolante tipo "Isotec XL" con applicata lamina di alluminio impermeabile all'acqua, sp. 12 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma tipo "Isotec X42", sp. 43 mm
6. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
7. Pannello in legno OSB, sp. 1,5 cm
8. Lamiera grecata in acciaio, h. 5,50 cm, sp. 1 mm
9. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
10. Trave reticolare, h. 1,20 m

Tab. 16.2. - Computo carico G_2 solaio di copertura: CO_02p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Rame Tecu	0,0007	89,00	0,0623
Isotec XL	0,12	0,38	0,0456
Gomma X42	0,003	7,50	0,0225
Poliuretano	0,04	1,00	0,04
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Lamiera grecata	0,001	-	0,16
Celenit AB	0,015	4,80	0,072
Pannelli di legno	0,01	7,50	0,075
Impianti			1,50
Struttura			
Totale G_2			1,9954

Fig. 16.3. - Stratigrafia solaio di copertura: CO_03p

Tetto giardino: CO_03p



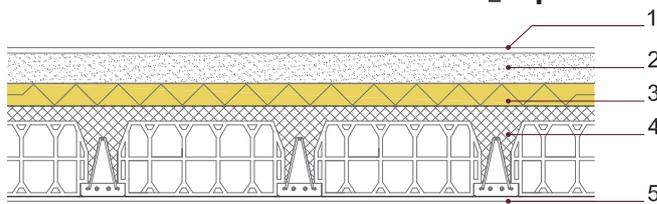
1. Strato di terreno, sp. 15 cm
2. Geotessuto in tnt
3. Strato drenante costituito da lapillo vulcanico, sp. 2 cm
4. Elementi per tetto giardino tipo "Geodren" in materiale plastico resistente alle sostanze chimiche e organiche, h. 6 cm
5. Guaina impermeabilizzante + tessuto antiradice, sp. 0,5 cm
6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
7. Solaio in laterocemento, h. 28 cm
8. Struttura di supporto in acciaio per il controsoffitto
9. Materassino fonoisolante, sp. 1,5 cm
10. Doppia lastra in cartongesso, sp. 2,50 cm

Tab. 16.3. - Computo carico G_2 tetto giardino: CO_03p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Terra	0,15	20,00	3,00
Geotessuto	0,002	14,00	0,028
Celenit FL/150 (per 2 strati)	0,06	1,60	0,192
Struttura			
Pendini	0,04		0,15
Celenit AB	0,015	4,80	0,072
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G_2			3,742



Partizione Orizzontale Interna: POI_01p



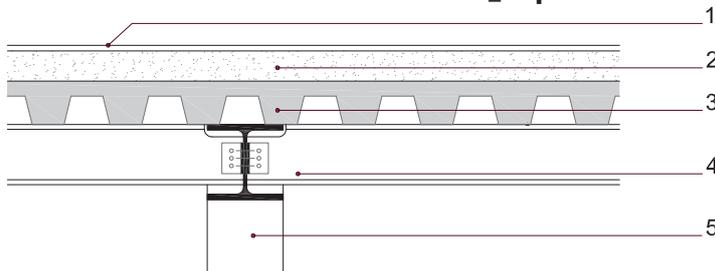
1. Finitura pavimentazione, sp. 1.5cm
2. Massetto di sottofondo in cls, sp. 8 cm
3. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
4. Solaio in latero cemento 20+4 cm
5. Placcaggio doppia lastra in cartongesso, sp. 2.5 cm

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Finitura: pietra	0,02	26,50	0,53
Massetto di sottofondo	0,08	16,00	1,28
Celenit FL/150	0,06	1,60	0,096
Struttura			
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G₂			2,206

Fig. 16.4. - Stratigrafia solaio di interpiano piano (-7.20/-4)m: POI_01p

Tab. 16.4. - Computo carico G₂ solaio interpiano (-7.20/-4) m: POI_01p

Partizione Orizzontale Interna: POI_02p



1. Pavimento in legno, sp. 1,5 cm
2. Massetto di sottofondo, sp. 8 cm
3. Lamiera grecata in acciaio, h. 7,5 cm, sp. 1,2 mm
4. Trave secondaria in acciaio, HEB 160
5. Trave reticolare in acciaio, h.1,20 m
6. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
7. Freno al vapore tipo "Celenit FV/160"

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Finitura: parquet	0,015	6,00	0,09
Massetto di sottofondo	0,08	16,00	1,280
Celenit FL/150	0,06	1,60	0,096
Struttura			
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Rame Tecu	0,007	89,00	0,0623
Totale G₂			1,5463

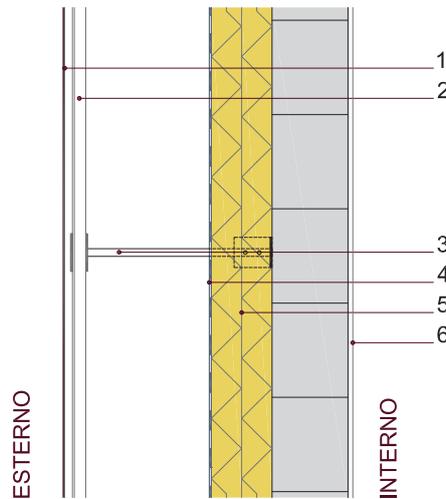
Fig. 16.5. - Stratigrafia solaio di interpiano piano (-4/+8.30)m: POI_02p

Tab. 16.5. - Computo carico G₂ solaio interpiano (-4/+8.30) m: POI_02p



Chiusura Verticale Foyer: CV_01p

Fig. 16.6. -
Stratigrafia chiusura
verticale Foyer:
CV_01p



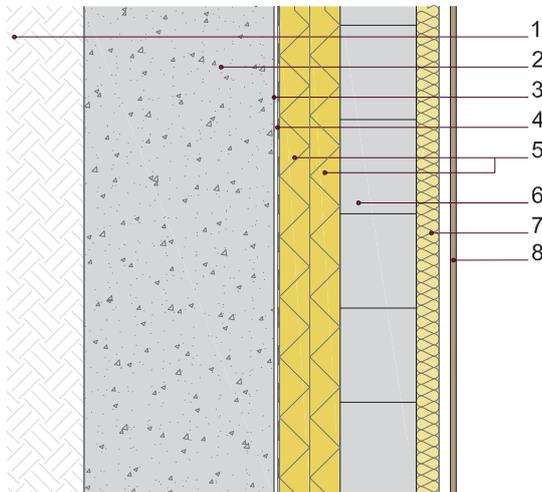
1. Lastre di rame tipo "Tecu Bronze", installate tramite tasselli, sp. 0,52 cm
2. Montante verticale in alluminio per l'installazione del rivestimento
3. Montante orizzontale in alluminio per il fissaggio al muro del sistema di rivestimento
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,5 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Finitura cls a vista

Tab. 16.6. - Computo
carico G_2 chiusura
verticale Foyer:
CV_01p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Blocchi in cls	0,20	7,00	1,400
Celenit FL/150 (per 2 strati)	0,08	1,60	0,256
Sottostruttura rivestimento			0,190
Rame Tecu	0,0007	89,00	0,0623
Totale G_2			1,908

Chiusura Verticale controterra lato palco: CV_02p

Fig. 16.7. -
Stratigrafia chiusura
verticale controterra
lato palco: CV_02p



1. Terreno
2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 50 cm
3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm
4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm
5. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo "Celenit", sp. 8 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
6. Blocchi in cls, sp. 20 cm
7. Pannello isolante in fibra di cellulosa tipo "Celenit", sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
8. Rivestimento in legno, sp. 15 mm, fissato su listelli di legno con interasse 1 m

Tab. 16.7. - Computo
carico G_2 chiusura
verticale controterra
lato palco: CV_02p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Membrana polietilene bugnata	0,009	-	-
Guaina impermeabile	0,005	-	-
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Blocchi in cls	0,20	7,00	1,400
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Pannello in legno	0,02	7,50	0,150
Totale G_2			1,824



Chiusura verticale controterra laterale CV_03p:

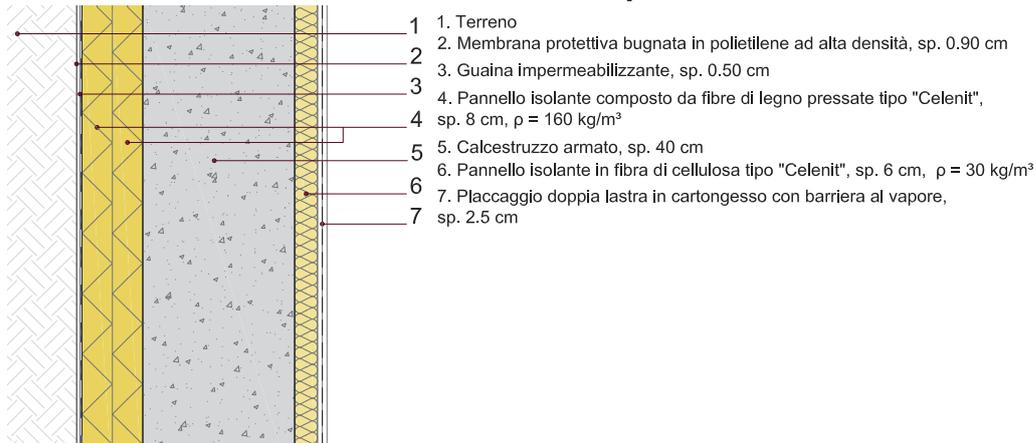


Fig. 16.8. - Stratigrafia chiusura verticale controterra laterale: CV_03p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Membrana polietilene bugnata	0,009	-	-
Guaina impermeabile	0,005	-	-
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Struttura	0,40	25,00	
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G ₂			0,574

Tab. 16.8. - Computo carico G₂ chiusura verticale controterra laterale: CV_03p

Chiusura verticale laterale: CV_04p

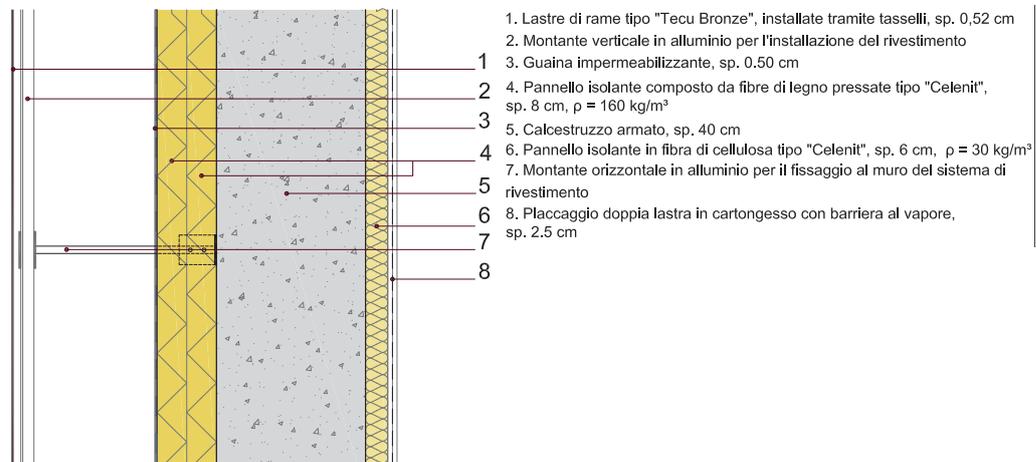


Fig. 16.9. - Stratigrafia chiusura verticale laterale: CV_04p

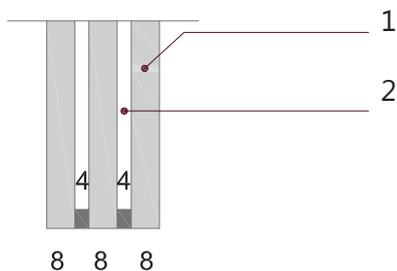
Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Struttura	0,40	25,00	
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Sottostruttura rivestimento			0,190
Rame Tecu	0,0007	89,00	0,0623
Totale G ₂			0,826

Tab. 16.9. - Computo carico G₂ chiusura verticale laterale: CV_04p



Fig. 16.10. -
Stratigrafia chiusura
verticale vetrata:
CV_05p

Chiusura verticale vetrata CV_05p:

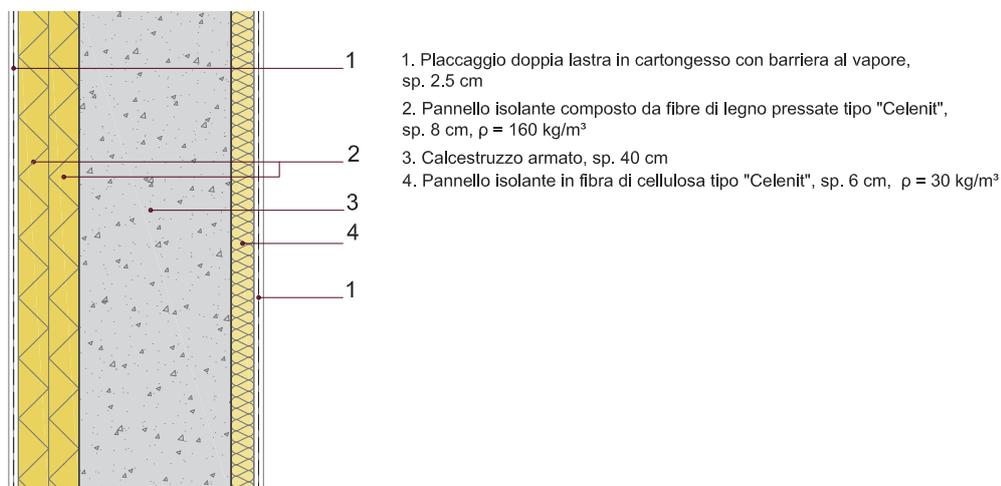


Tab. 16.10. -
Computo carico G_2
chiusura verticale
vetrata: CV_05p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m]
Triplo vetro selettivo basso emissivo (8-4-8-4-8)	-	-	0,20
Totale G_2			0,20

Chiusura verticale laterale bar/esposizione: CV_06p

Fig. 16.11. -
Stratigrafia chiusura
verticale laterale bar/
esposizione: CV_06p



Tab. 16.11. -
Computo carico G_2
chiusura verticale
laterale bar/
esposizione: CV_06p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Struttura	0,40	25,00	
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G_2			0,874



Chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_07p

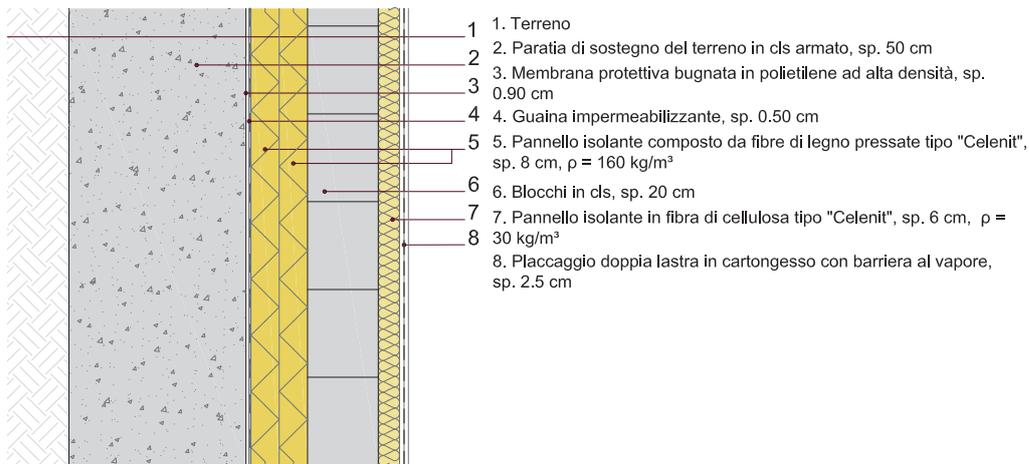


Fig. 16.12. - Stratigrafia chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_07p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Membrana polietilene bugnata	0,009	-	-
Guaina impermeabile	0,005	-	-
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Struttura	0,20	25,00	
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G₂			0,574

Tab. 16.12. - Computo carico G₂ chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_07p

Chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_08p

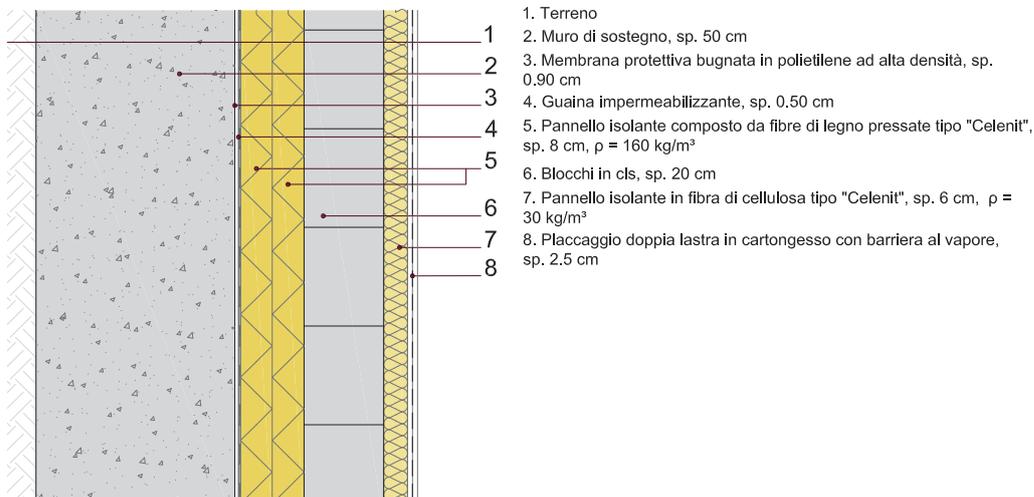


Fig. 16.13. - Stratigrafia chiusura verticale controterra bar/esposizione CV_08p

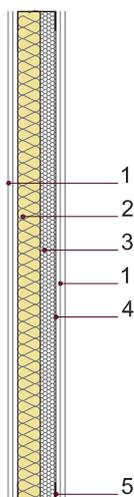
Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Membrana polietilene bugnata	0,009	-	-
Guaina impermeabile	0,005	-	-
Celenit FL/150	0,16	1,60	0,256
Struttura	0,20	25,00	
Celenit Vital	0,06	0,30	0,018
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G₂			0,574

Tab. 16.13. - Computo carico G₂ chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_08p



Fig. 16.14. -
Stratigrafia partizione
interna verticale:
PVI_01p

Partizione Interna Verticale: PVI_01p



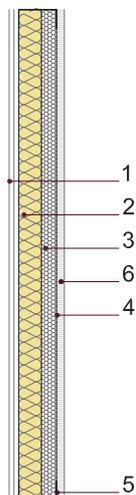
1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2.5 cm
2. Pannello isolante in lana minerale, sp. 6 cm
3. Pannello isolante acustico, $R_w=40\text{dB}$, sp. 4 cm
4. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
5. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso

Tab. 16.14. -
Computo carico G_2
partizione interna
verticale: PVI_01p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Lastra Knauf Fireboard	0,025	12,00	0,30
Isolante lana minerale	0,06	0,40	0,024
Isolante acustico	0,04	0,40	0,016
Montante in acciaio	interasse 0,6	78,50	0,16
Guida ad U in acciaio	0,0024	78,50	0,19
Lastra Knauf Fireboard	0,025	12,00	0,30
Totale G_2			0,990

Fig. 16.15. -
Stratigrafia partizione
interna verticale:
PVI_02p

Partizione Interna Verticale: PVI_02p



1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2.5 cm
2. Pannello isolante in lana minerale, sp. 6 cm
3. Pannello isolante acustico, $R_w=40\text{dB}$, sp. 4 cm
4. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
5. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
6. Materiale fonoisolante, sp. 2 cm

Tab. 16.15. -
Computo carico G_2
partizione interna
verticale: PVI_02p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Lastra Knauf Fireboard	0,025	12,00	0,30
Isolante lana minerale	0,060	0,40	0,024
Isolante acustico	0,040	0,40	0,016
Montante in acciaio	interasse 0,6	78,50	0,16
Guida ad U in acciaio	0,0024	78,50	0,19
Materiale fonoassorbente	0,020	12,00	0,24
Totale G_2			0,93



Partizione Interna Verticale vano scale/sala interna: PVI_03p

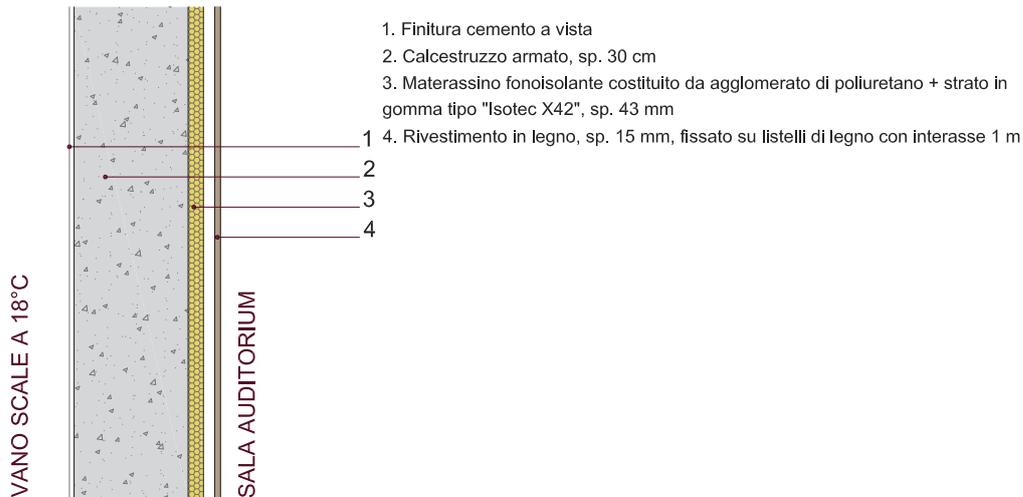


Fig. 16.16. - Stratigrafia partizione interna verticale vano scale/sala interna: PVI_03p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Pannelli di legno	0,015	7,50	0,112
Materiale fonoisolante	0,043	12,00	0,516
Struttura in c.a.	0,30	25,00	
Totale G₂			0,628

Tab. 16.16. - Computo carico G₂ partizione interna verticale vano scale/sala interna: PVI_03p

Partizione Interna Verticale: PVI_04p

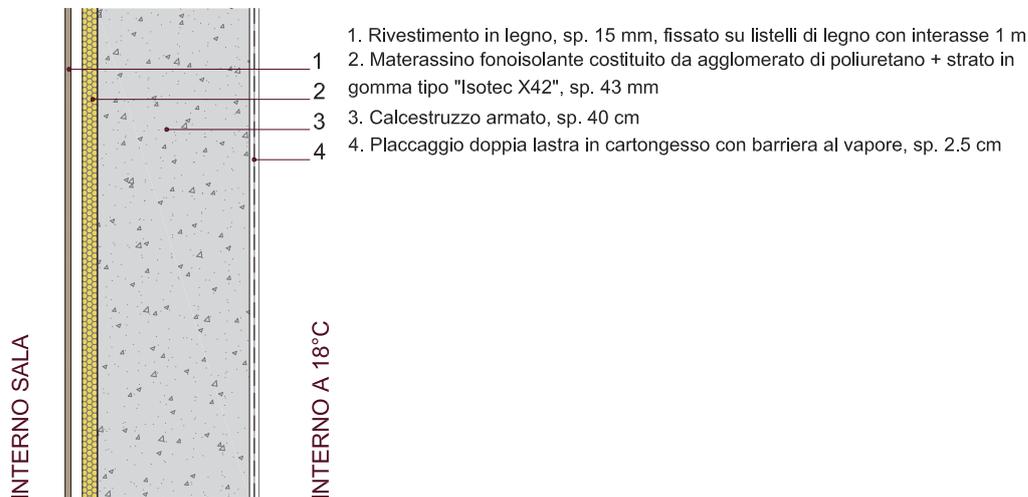


Fig. 16.17. - Stratigrafia partizione interna verticale: PVI_04p

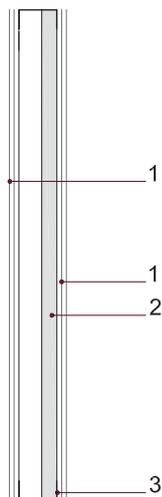
Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Pannelli di legno	0,015	7,50	0,112
Materiale fonoisolante	0,043	12,00	0,516
Struttura in c.a.	0,40	25,00	
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G₂			0,928

Tab. 16.17. - Computo carico G₂ partizione interna verticale: PVI_03p



Fig. 16.18. -
Stratigrafia partizione
interna verticale:
PVI_05p

Partizione Interna Verticale: PVI_05p



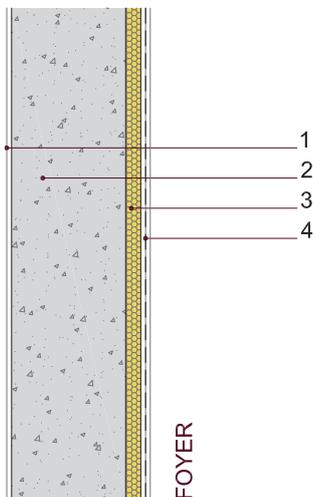
1. Placcaggio doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2.5 cm
2. Montante verticale a C in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso
3. Guida orizzontale a U in acciaio, sottostruttura parete in cartongesso

Tab. 16.18. -
Computo carico G_2
partizione interna
verticale: PVI_05p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Lastra Knauf Fireboard	0,025	12,00	0,30
Montante in acciaio	interasse 0,6	78,50	0,16
Guida ad U in acciaio	0,0024	78,50	0,19
Lastra Knauf Fireboard	0,025	12,00	0,30
Totale G_2			0,95

Fig. 16.19. -
Stratigrafia partizione
interna verticale vano
scale/foyer: PVI_06p

Partizione Interna Verticale vano scale/foyer: PVI_06p



1. Finitura cemento a vista
2. Calcestruzzo armato, sp. 30 cm
3. Materassino fonoisolante costituito da agglomerato di poliuretano + strato in gomma tipo "Isotec X42", sp. 43 mm
4. Placcaggio doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf Fireboard", sp. 2.5 cm

Tab. 16.19. -
Computo carico G_2
partizione interna
verticale vano scale/
foyer: PVI_06p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Materiale fonoisolante	0,043	12,00	0,516
Struttura in c.a.	0,30	25,00	
Totale G_2			0,816



Partizione Interna Verticale laterale: PVI_07p

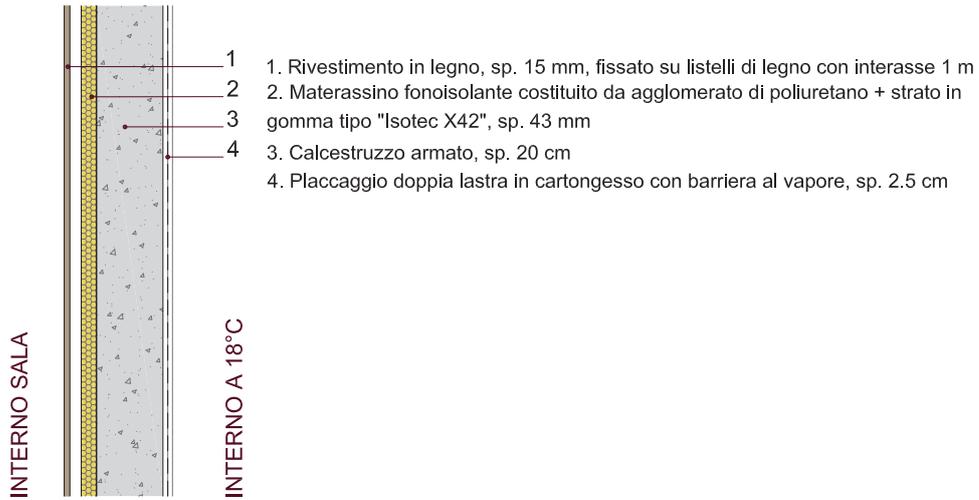


Fig. 16.20. - Stratigrafia partizione interna verticale laterale: PVI_07p

Strati	Spessore [m]	Peso Unitario [kN/m ³]	Peso [kN/m ²]
Pannelli di legno	0,015	7,50	0,112
Materiale fonoisolante	0,043	12,00	0,516
Struttura in c.a.	0,20	25,00	
Placcaggio cartongesso	0,025	12,00	0,300
Totale G ₂			0,928

Tab. 16.20. - Computo carico G₂ partizione interna verticale laterale: PVI_07p



16.3.2. Analisi dei carichi variabili Q

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²],
- carichi verticali concentrati Q_k [kN],
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m].

Tab. 16.21. - ³
Valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k e H_k per le diverse categorie di edifici.

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
C	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
	* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati			
	** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso			

Il carico Q di progetto, quindi, è pari a 4,00 kN/m², rientrando nella categoria C2 riferita a sale convegni, cinema, teatri, chiese e tribune con posti fissi.

³ Tabella 3.1.11 Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici, riportata nelle NTC del 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni" contenute nel D.M. 14/01/2008 e con la Circolare n. 617 del 2/02/2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".



16.3.3. Carico del vento

Il vento esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. La direzione si considera generalmente orizzontale.

Velocità di riferimento ⁴

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

$v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri forniti nella Tab. 16.22 e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 16.21;

a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Tab. 16.22. - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a .



Fig. 16.21. - Mappa delle zone in cui è diviso il territorio italiano.

⁴ Ibidem.



I dati che ne risultano sono:

Milano = zona 1

$v_{bo} = 25$ m/s (velocità di riferimento)

$a_0 = 1000$ m

$K_a = 0,010$ s⁻¹

$a_s = 130$ m poiché $a_s < a_0$ $130 \text{ m} < 1000 \text{ m} \Rightarrow v_{bo} = v_b = 25$ m/s (velocità del vento).

Pressione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

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

dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

_ Pressione cinetica del vento (q_b)

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m²) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

dove:

v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s) in riferimento alla Tab. 16.22;

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390 \text{ N/m}^2 = \mathbf{39 \text{ Kg/m}^2}$$

_ Coefficiente di esposizione (c_e)

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200$ m, esso è dato dalla formula:

$$\begin{aligned} c_e(z) &= k r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] && \text{per } z \geq z_{\min} \\ c_e(z) &= c_e(z_{\min}) && \text{per } z < z_{\min} \end{aligned}$$



dove:

k_r, z_0, z_{min} sono assegnati in Tab. 16.23 in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tab. 16.23. - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione.

In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Fig. 16.22 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 16.24. Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1, 2, 3, 4, 5 e 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

Il coefficiente di topografia c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso, la Fig. 16.23 riporta le leggi di variazione di c_e per le diverse categorie di esposizione.

Classe di rugosità terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno 1,5% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m.
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive.
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni): aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D.
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ...).

Tab. 16.24. - Classi di rugosità del terreno.

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione.

Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

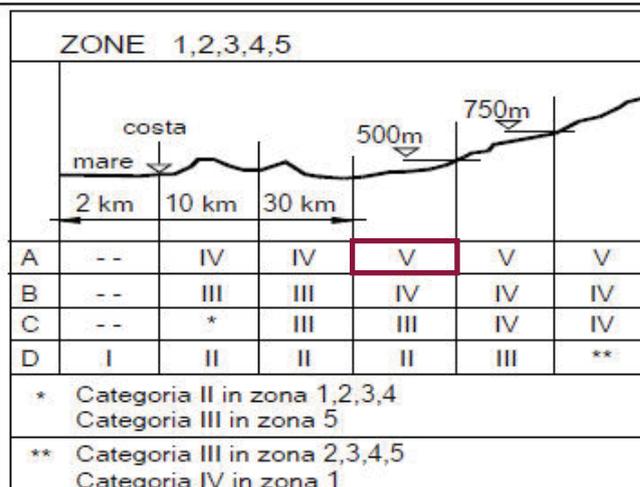
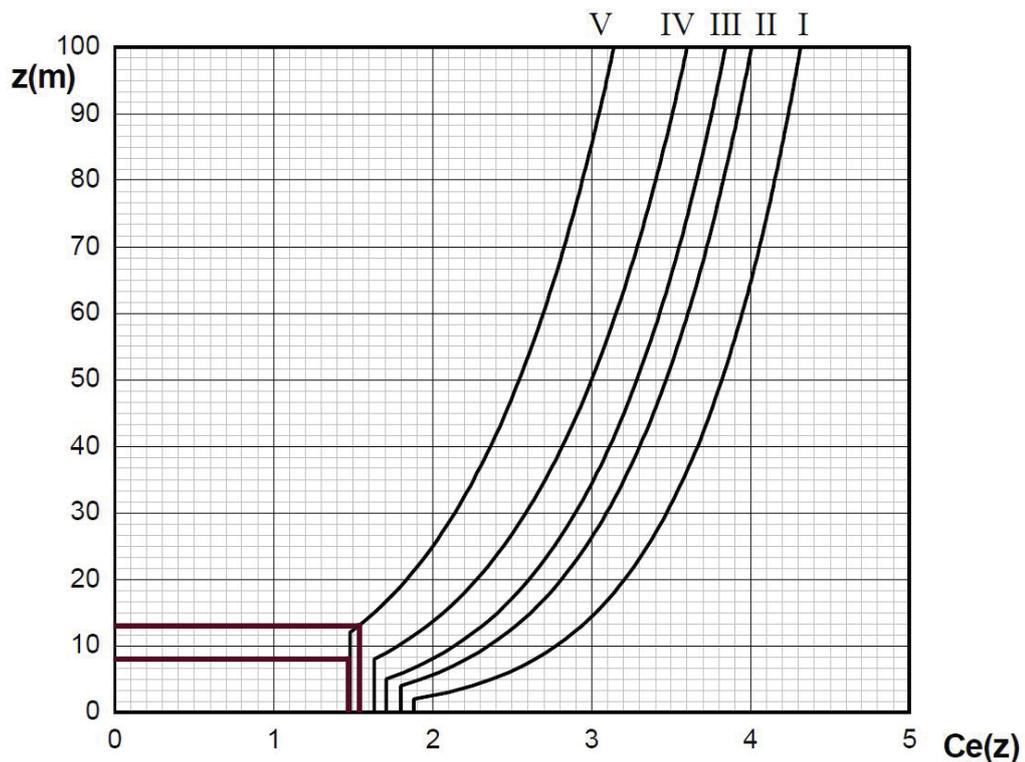


Fig. 16.22. - Definizione delle categorie di esposizione.



Fig. 16.23. -
Andamento del
coefficiente di
esposizione c_e con la
quota, per c_t pari a 1.



Riassumendo si ricava:

Classe A: area urbana;

Categoria di esposizione del sito:

Zona 1 Classe A Sotto i 500 m slm Più di 30 km dal mare	}	Classe V	$\left\{ \begin{array}{l} k_t = 0,23 \\ z_0 = 0,70 \text{ m} \\ z_{\min} = 12 \text{ m} \\ z_{\max} = 13,40 \text{ m} \end{array} \right.$
--	---	----------	--

Si è nel caso in cui $z > z_{\min}$: $13,40 \text{ m} > 12 \text{ m}$.

$$c_e(z_{\min}) = c_e(12\text{m}) = 0,23^2 \ln(12/0,70) [7 + \ln(12/0,70)] = 1,48$$

Fino a 12 metri la pressione del vento è costante.

$$c_e(z_{\max}) = c_e(13,40\text{m}) = 0,23^2 \ln(13,40/0,70) [7 + \ln(13,40/0,70)] = 1,50^5$$

Andamento approssimato linearmente.

_ Coefficiente di forma (c_p)

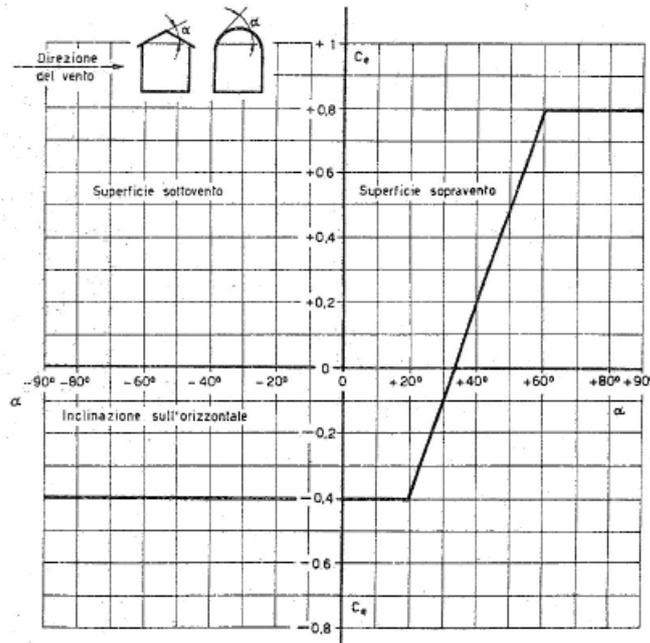
Per la valutazione della pressione esterna si assumerà (Fig. 14.16 ed α in gradi):

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$, $c_{pe} = + 0,8$;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $20^\circ < \alpha < 60^\circ$, $c_{pe} = +0,03 \alpha - 1$;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente) $c_{pe} = - 0,4$.

⁵ A favore di sicurezza si considera il coefficiente c_e dell'altezza di 12,30 m visto che la z_{\max} risulta inferiore solo di 30 cm.



Fig. 16.24. - ⁶ Valori di c_{pe} al variare dell'angolo α .



Per la valutazione della pressione interna si assumerà (vedere Fig. 16.24 e scegliere il segno che dà luogo alla combinazione più sfavorevole):

- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale: $c_{pi} = \pm 0,2$
- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale: $c_{pi} = + 0,8$ quando la parete aperta è sopravento, $c_{pi} = - 0,5$ quando la parete aperta è sottovento o parallela al vento;
- per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale: $c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$ per gli elementi normali alla direzione del vento, $c_{pi} = \pm 0,2$ per i rimanenti elementi.

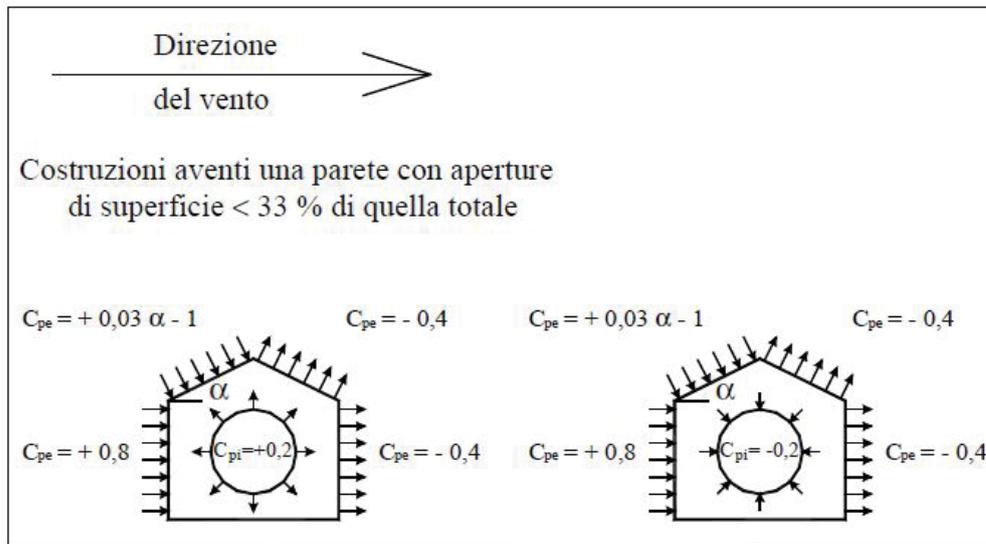
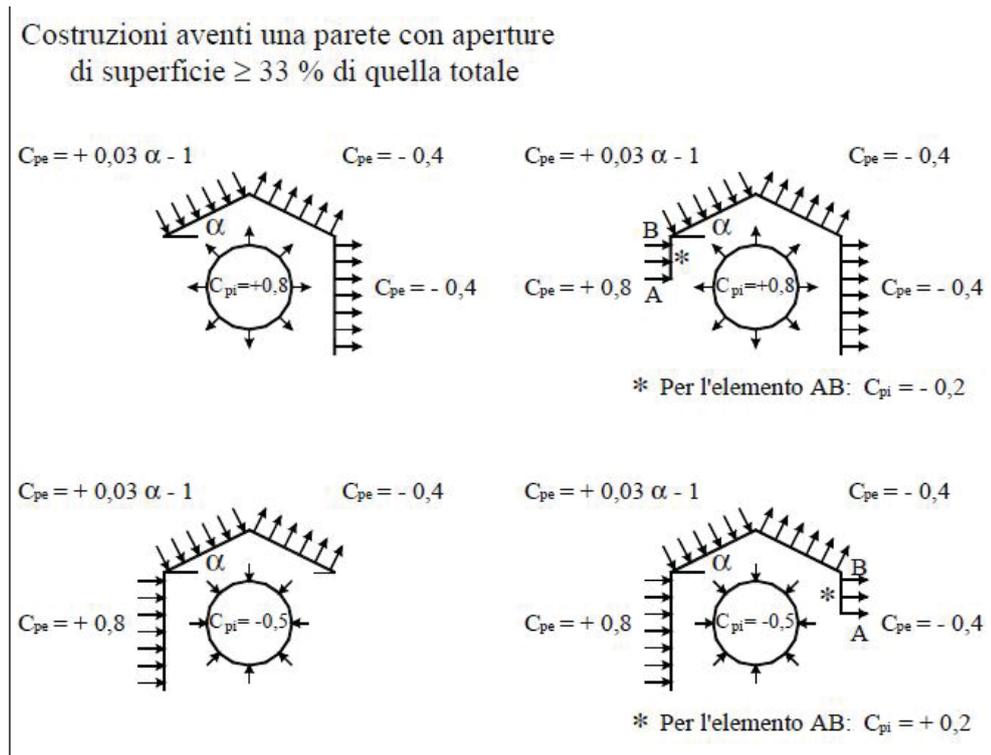


Fig. 16.25. - ⁷ Coefficienti di forma per gli edifici (1).

⁶ Circolare n. 617 del 2/02/2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".
⁷ Ibidem.



Fig. 16.26. - Coefficienti di forma per gli edifici (2).



Considerando la forma dell'edificio e l'inclinazione della copertura, il coefficiente di forma risulta:

$$c_e = c_{pe} + c_{pi} = 0,8 + 0,2 = \mathbf{1,0}$$

_ Coefficiente dinamico (c_d)

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Nel caso in oggetto, quindi, $C_d = 1$.

_ Pressione del vento 1 (p)

Noti i parametri precedentemente calcolati, è possibile determinare la pressione del vento nella direzione y:

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

Vento in pressione	$P_{yv1} = 39 \cdot 1,50 \cdot 0,8 \cdot 1 = \mathbf{46,80 \text{ Kg/m}^2} =$	$\mathbf{+0,47 \text{ kN/m}^2}$
Vento in depressione	$P_{yv2} = 39 \cdot 1,50 \cdot (-0,4) \cdot 1 = \mathbf{-23,40 \text{ Kg/m}^2} =$	$\mathbf{-0,23 \text{ kN/m}^2}$
Vento in copertura	$P_{yv3} = 39 \cdot 1,50 \cdot (-0,4) \cdot 1 = \mathbf{-23,40 \text{ Kg/m}^2} =$	$\mathbf{-0,23 \text{ kN/m}^2}$

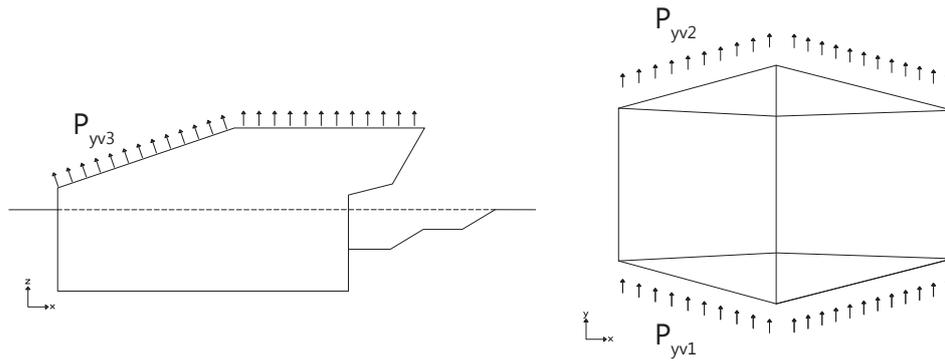


Fig. 16.27. - Schema azione del vento in direzione y sull'edificio.

Pressione del vento 2 (p)

Si calcola la pressione del vento nella direzione x. Rispetto al caso precedente cambia il valore del parametro c_e , in quanto l'altezza di z è minore ($z=8,30m$).

$$c_e(z_{min}) = c_e(8,30m) = 0,23^2 \ln(8,30/0,70) [7 + \ln(8,30/0,70)] = 1,23$$

Fino a 12 metri la pressione del vento è costante.

Noti i parametri precedentemente calcolati, è possibile determinare la pressione del vento nella direzione x:

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

Vento in pressione	$P_{xv1} = 39 \cdot 1,23 \cdot 0,8 \cdot 1 = 38,38 \text{ Kg/m}^2 = +0,38 \text{ kN/m}^2$
Vento in depressione	$P_{xv2} = 39 \cdot 1,23 \cdot (-0,4) \cdot 1 = -19,19 \text{ Kg/m}^2 = -0,19 \text{ kN/m}^2$
Vento in copertura	$P_{xv3} = 39 \cdot 1,23 \cdot (-0,43) \cdot 1 = 20,63 \text{ Kg/m}^2 = +0,21 \text{ kN/m}^2$
Vento copertura piana	$P_{xv4} = 39 \cdot 1,23 \cdot (-0,4) \cdot 1 = -19,19 \text{ Kg/m}^2 = -0,19 \text{ kN/m}^2$

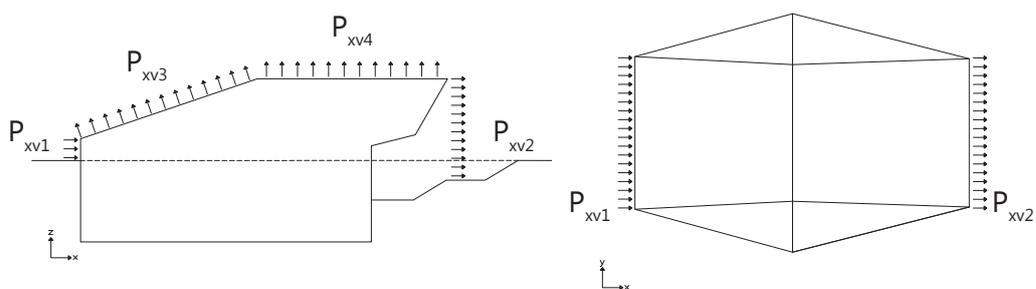


Fig. 16.28. - Schema azione del vento in direzione x sull'edificio.

Pressione del vento 3 (p)

Si calcola la pressione del vento nella direzione -x. Rispetto al caso precedente cambia il valore del parametro c_e , in quanto l'altezza di z è pari a 12,30m.

$$c_e(z_{min}) = c_e(12,30m) = 0,23^2 \ln(12,30/0,70) [7 + \ln(12,30/0,70)] = 1,50$$

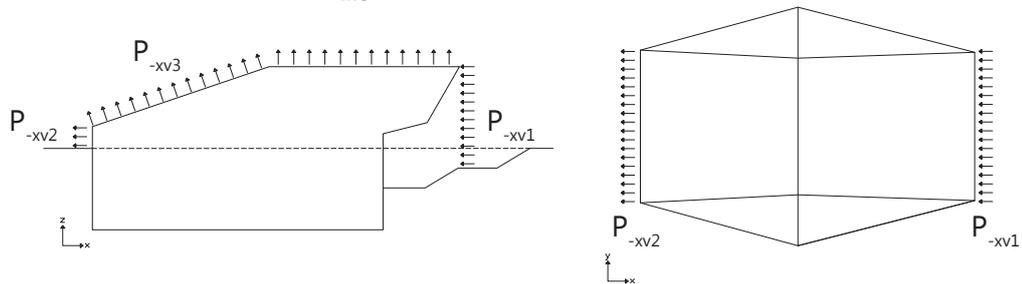
Noti i parametri precedentemente calcolati, è possibile determinare la pressione del vento nella direzione x:

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



Vento in pressione $P_{-xv1} = 39 \cdot 1,50 \cdot 0,8 \cdot 1 = 46,80 \text{ Kg/m}^2 = +0,47 \text{ kN/m}^2$
 Vento in depressione $P_{-xv2} = 39 \cdot 1,50 \cdot (-0,4) \cdot 1 = -23,40 \text{ Kg/m}^2 = -0,23 \text{ kN/m}^2$
 Vento in copertura $P_{-xv3} = 39 \cdot 1,50 \cdot (-0,4) \cdot 1 = -23,40 \text{ Kg/m}^2 = -0,23 \text{ kN/m}^2$

Fig. 16.29. - Schema azione del vento in direzione -x sull'edificio.



16.3.4. Carico della neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T$$

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E è il coefficiente di esposizione;

C_T è il coefficiente termico.

_ Valore caratteristico del carico neve al suolo (q_{sk})

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali climatiche e di esposizione, in base alla variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

L'edificio risulta appartenente alla *Zona I - Mediterranea* e si utilizzerà la seguente formula:

Zona I – Mediterranea:

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forli-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per } a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s / 602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad \text{per } a_s > 200 \text{ m}$$

Fig. 16.30. - Zone di carico da neve.

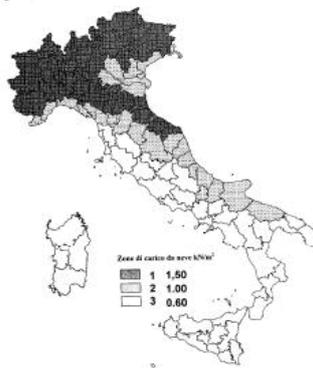


Figura 3.4.1 - Zone di carico da neve

La quota sul livello del mare, ossia l'altitudine di riferimento a_s considerata è pari a 130 m s.l.m.



Coefficiente di esposizione (C_E)

Il valore del coefficiente di esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico della neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Il valore del coefficiente di esposizione è desunto dalla Tab. 16.25 e si assumerà **C_E = 1** poiché la classe di topografia è quella normale.

Topografia	Descrizione	C _E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Tab. 16.25. - Valori di C_E per le diverse classi di topografia.

Coefficiente termico (C_t)

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tenere conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causato dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato il valore **C_t = 1**.

Carico neve sulle coperture (μ₁)

Devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico:

- carico di neve depositata in assenza di vento,
- carico di neve depositata in presenza di vento.

In generale verranno usati i coefficienti di forma per il carico neve che si riferiscono alla tipologia di copertura; l'angolo che si forma tra la falda e l'orizzontale viene espresso in gradi sessagesimali.

Coefficiente di forma	0° ≤ α ≤ 30°	30° < α < 60°	α ≥ 60°
μ ₁	0,8	0,8 · $\frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Tab. 16.26. - Valore dei coefficienti di forma in relazione alla pendenza della falda di copertura.

Dalla Tab. 15.26 **μ₁** risulta pari a **0,8**.

Carico neve sulla copertura (q_s)

Noti i parametri precedentemente calcolati, è possibile determinare il carico della neve sulla copertura:

$$q_s = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T$$

dove:

- μ₁ = 0,8
- q_{sk} = 1,5
- C_E = 1,0
- C_t = 1,0

Quindi risulta:

$$q_s = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{1,2 \text{ kN/m}^2}$$

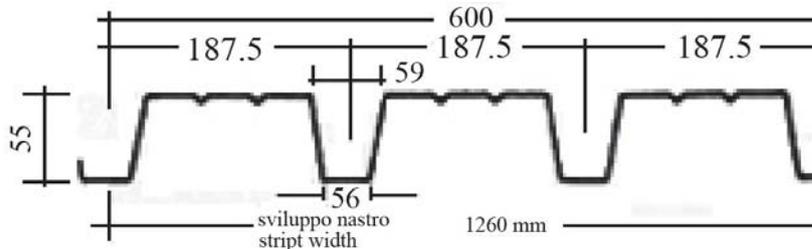


16.4. Dimensionamento e verifica della copertura

16.4.1. Lamiera grecata

Per la copertura si è scelto di utilizzare una lamiera grecata tipo "Hi-Bond A55 P.600" con le seguenti caratteristiche geometriche:

Fig. 16.31. - Sezione quotata lamiera grecata tipo "Hi-Bond A55 P.600"



Si è scelto di adottare lo schema statico di una trave appoggio-appoggio con carico uniformemente distribuito e con luce pari a 2,40 m. Le caratteristiche statiche della lamiera risultano:

Spessore [mm]	1,00
$P_{lamiera}$ [kN/m ²]	0,13

Si è verificato che il carico agente sulla lamiera abbia un valore minore rispetto a quello tabellato.

Tab. 16.27. - Caratteristiche meccaniche della lamiera scelta.

Carico massimo uniformemente distribuito
(Espresso in Kg/Mq e considerando una resistenza $\delta = 1450$ Kg/Mq)

▲▲ Spessore	Distanza fra gli appoggi (espressa in metri)														
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50
0,6	1205	770	535	395	300	235	190	160	135	115	100	85	75	65	60
0,7	1490	955	660	485	370	295	240	195	165	140	120	105	95	80	75
0,8	1765	1130	785	575	440	350	280	235	195	165	145	125	110	95	85
1,0	2360	1510	1050	770	590	465	375	310	260	225	190	165	145	130	115
1,20	2985	1910	1325	975	745	590	475	395	330	280	245	210	185	165	145
freccia (cm)	0,19	0,30	0,45	0,60	0,79	1,00	1,22	1,37	1,50	1,62	1,75	1,87	2,00	2,12	2,25

Il carico di progetto è stato ottenuto attraverso la combinazione SLE rara⁸:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} = 0,13 + 1,99 + 1,20 + (0 \cdot 0,50) = 3,32 \text{ kN/m}^2$$

Di conseguenza è stata scelta una lamiera di spessore 1 mm e interasse 2,40 m in modo da poter sopperire ai carichi agenti sulla copertura.

Carico massimo resistente lamiera: 3,75 kN/m²

Carico di progetto: 3,32 kN/m²

⁸ Con Q_{k1} si intende il carico della neve a favore di sicurezza, mentre il carico Q_{k2} rappresenta la destinazione d'uso (copertura) e il coefficiente ψ_{02} per questo uso è pari a 0.



16.4.2. Dimensionamento travi secondarie

L'orditura secondaria della struttura è riconducibile ad uno schema statico di semplice trave appoggio-appoggio uniformemente caricata. Sono state analizzate le due tipologie di travi secondarie più a sfavore di sicurezza. In particolare è stata analizzata la trave secondaria 8-EF e la trave 8-HI⁹. Di seguito è riportata la pianta strutturale (Fig. 16.32) del piano di copertura con l'area di influenza delle travi secondarie in oggetto.

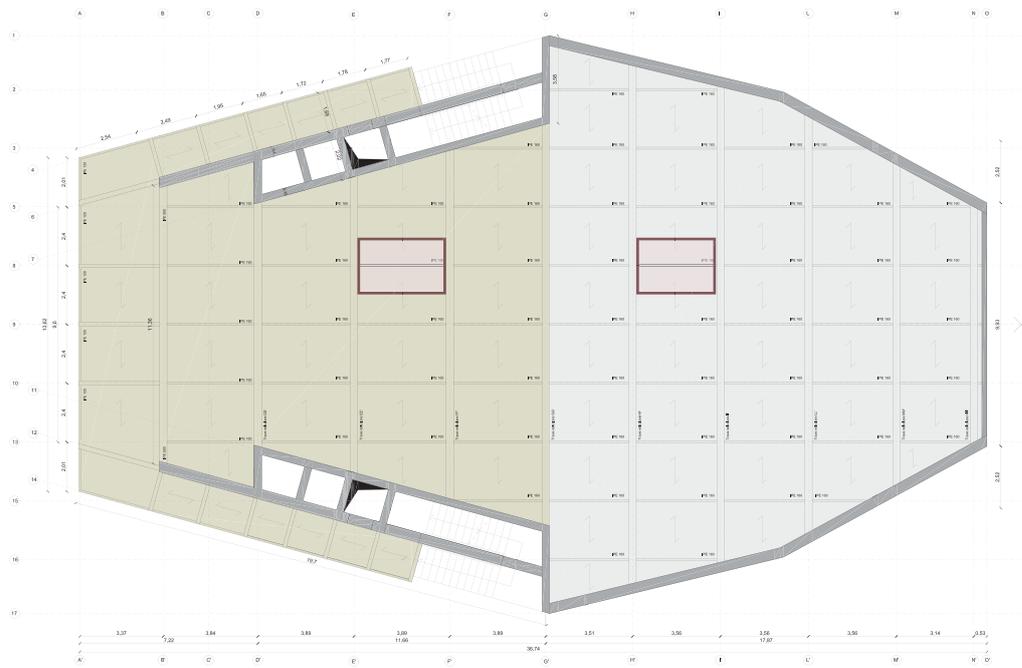


Fig. 16.32. - Pianta strutturale: piano copertura. Area d'influenza trave secondaria 8-EF e 8-HI. Fuori scala.

Cfr. Tav. 102.

Trave secondaria 8-EF

Stato Limite di Esercizio

Per la determinazione del carico q agente sulla trave, è stata utilizzata la combinazione di carico rara $3,32 \text{ kN/m}^2$ moltiplicata per la larghezza dell'area di influenza i .

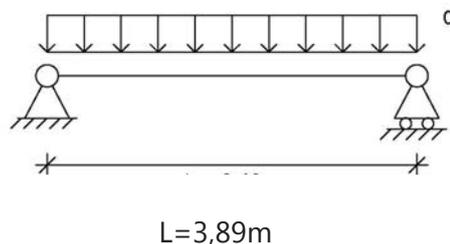


Fig. 16.33. - Schema statico trave secondaria 8-EF.

$$q_{\text{tot,SLE}} = (G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}) \cdot i = 3,32 \cdot 2,40 = 7,97 \text{ kN/m}$$

Tale carico non tiene in considerazione il peso proprio della trave (G_1 è riferito al pacchetto della lamiera grecata).

Per il predimensionamento della trave secondaria maggiormente caricata si impone che la deformazione massima del profilo sia minore del valore riportato nella Tab. 16.28.

⁹ La trave 8-EF ha una inclinazione di 3° rispetto all'orizzontale, mentre la trave 8-HI è inclinata di 22° .



Tab. 16.28. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Per il dimensionamento della trave si procede con il calcolo dell'inerzia I imponendo la freccia massima in mezzera pari a 1/200 della luce:

$$I = (5 \cdot 200 \cdot q \cdot L^3) / 384 \cdot E = 581,63 \text{ cm}^4$$

Si è scelto da prontuario un profilo **IPE 160** con le seguenti caratteristiche:

Tab. 16.29. - Caratteristiche profilo IPE 160.

b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]	W _{pl} [mm ³]
82	5	7,4	9	2010	86900000	109000

Determinato il profilo è ora possibile determinare la combinazione di carico rara comprensiva del peso proprio della trave:

$$(7,97 + 0,16) \text{ kN/m} = 8,13 \text{ kN/m}$$

_Verifiche a deformazione

$$\delta_2 = ((5/384) \cdot P_{Q1,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 1,20 \cdot 3890^4) / (210000 \cdot 86900000) = 1,96 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = ((5/384) \cdot P_{tot,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 8,13 \cdot 3890^4) / (210000 \cdot 86900000) = 13,0 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 1,96 / 3890 < 1/250 \quad \text{Verificato}$$

$$\delta_{max} / L = 13,02 / 3890 < 1/200 \quad \text{Verificato}$$

Stato Limite Ultimo

Le verifiche relative alle caratteristiche resistenti della sezione sono effettuate utilizzando un valore q ottenuto tramite la combinazione fondamentale di carico agli SLU:

$$q_{tot,SLU} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{1,k}$$

¹⁰ Considerando E = 210000 MPa.



I fattori moltiplicativi γ sono stati tratti dalla Tab. 16.30 e, fra le due condizioni previste, si è sempre scelta quella sfavorevole a favore di sicurezza.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab. 16.30. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

$$q_{tot,SLU} = (1,3 \cdot 0,13 + 1,5 \cdot 1,99 + 1,5 \cdot 1,20) \cdot 2,40 = 11,89 \text{ kN/m}$$

_Verifiche di resistenza:

Flessione monoassiale (retta)

Nel caso di flessione attorno ad un asse, viene richiesto che il valore di momento di progetto M_{Ed} in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale soddisfi la relazione:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

dove:

M_{Ed} rappresenta il momento sollecitante;

$M_{c,Rd}$ rappresenta il momento resistente di progetto della sezione trasversale.

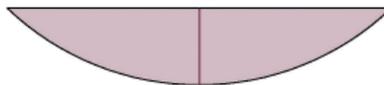
La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ ¹¹ vale:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

Il momento risulta:

$$M_{c,Rd} = (109000 \cdot 275) / 1,05 = 28547619 \text{ Nmm} = 28,55 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzera è pari a:



22,49 kNm

$$M_{Ed} = (q_{tot,SLU} \cdot L^2) / 8 = (11,89 \cdot 3,89^2) / 8 = 22,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,79 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

¹¹ Per sezioni di classe 1 e 2 (profilo Ipe rientra nella classe 1).



Verifica a taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

$V_{c,Rd}$ rappresenta la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione e vale:

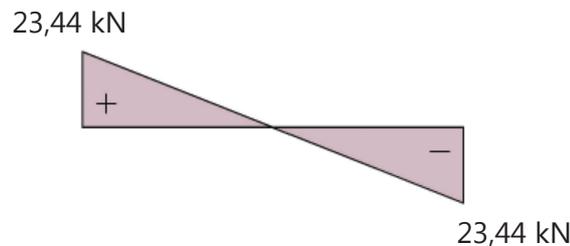
$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

Dove A_v è l'area resistente a taglio e per i profilati ad I e ad H, caricati nel piano dell'anima, si può assumere:

$$A_v^{12} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 9,67 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = (9670 \cdot 275) / (\sqrt{3} \cdot 1,05) = 146160 \text{ N} = 146,16 \text{ kN}$$

Il taglio agente risulta:



$$V_{Ed} = (q_{tot,SLU} \cdot L) / 2 = ((11,89 + 0,16) \cdot 3,89) / 2 = 23,44 \text{ kN}$$

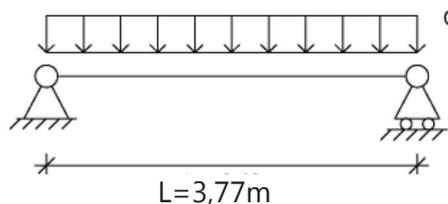
$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,16 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

Trave secondaria 8-HI

Stato Limite di Esercizio

Per la determinazione del carico q agente sulla trave¹³, è stata utilizzata la combinazione di carico rara, opportunamente moltiplicata per il coseno dell'angolo α e risulta pari a 3,09 kN/m² per la larghezza dell'area di influenza i .

Fig. 16.34. - Schema statico trave secondaria 8-HI.



$$q_{tot,SLE} = (G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}) \cdot \cos \alpha \cdot i = 3,09 \cdot 2,40 = 7,41 \text{ kN/m}$$

Il procedimento di calcolo è il medesimo seguito per il dimensionamento della trave secondaria 8-EF. Si riportano, in questo caso, solo i passaggi principali e le verifiche.

¹² Parametri riportati in Tab. 16.29.

¹³ Inclinazione trave 8-HI 22° rispetto all'orizzontale.



Per il dimensionamento della trave si procede con il calcolo dell'inerzia I imponendo la freccia massima in mezzeria pari a $1/200$ della luce:

$$I = (5 \cdot 200 \cdot q \cdot L^3) / 384 \cdot E = 492,39 \text{ cm}^4$$

Si è scelto da prontuario un profilo **IPE 160** con le seguenti caratteristiche:

b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]	W _{pl} [mm ³]
82	5	7,4	9	2010	86900000	109000

Tab. 16.31. -
Caratteristiche profilo
IPE 160.

Determinato il profilo è ora possibile determinare la combinazione di carico rara comprensiva del peso proprio della trave:

$$(7,41 + 0,16) \text{ kN/m} = 7,57 \text{ kN/m}$$

_Verifiche a deformazione

$$\delta_2 = ((5/384) \cdot P_{Q1,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 1,20 \cdot 3770^4) / (210000 \cdot 8690000) = 1,73 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = ((5/384) \cdot P_{\text{tot},SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 7,57 \cdot 3770^4) / (210000 \cdot 8690000) = 10,7 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 1,73 / 3770 < 1/250 \quad \text{Verificato}$$

$$\delta_{\max} / L = 10,70 / 3770 < 1/200 \quad \text{Verificato}$$

Stato Limite Ultimo

Le verifiche relative alle caratteristiche resistenti della sezione sono effettuate utilizzando un valore q ottenuto tramite la combinazione fondamentale di carico agli SLU:

$$q_{\text{tot,SLU}} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{1,k}$$

$$q_{\text{tot,SLU}} = (1,3 \cdot 0,13 + 1,5 \cdot 1,99 + 1,5 \cdot 1,20) \cdot \cos 22 \cdot 2,40 = 11,06 \text{ kN/m}$$

_Verifiche di resistenza:

Flessione monoassiale (retta)

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = (109000 \cdot 275) / 1,05 = 28547619 \text{ Nmm} = 28,55 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzeria è pari a:



$$19,64 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = (q_{\text{tot,SLU}} \cdot L^2) / 8 = (11,06 \cdot 3,77^2) / 8 = 19,64 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,69 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$



Verifica a taglio

La resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione vale:

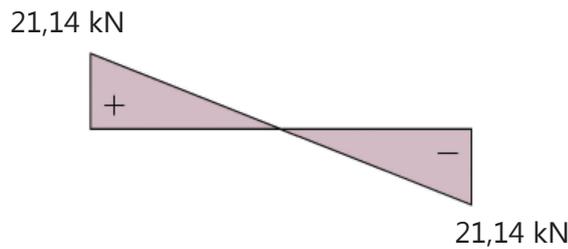
$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

dove:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 9,67 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = (9670 \cdot 275) / (\sqrt{3} \cdot 1,05) = 146160 \text{ N} = 146,16 \text{ kN}$$

Il taglio agente risulta:



$$V_{Ed} = (q_{tot,SLU} \cdot L) / 2 = ((11,06 + 0,16) \cdot 3,77) / 2 = 21,14 \text{ kN}$$

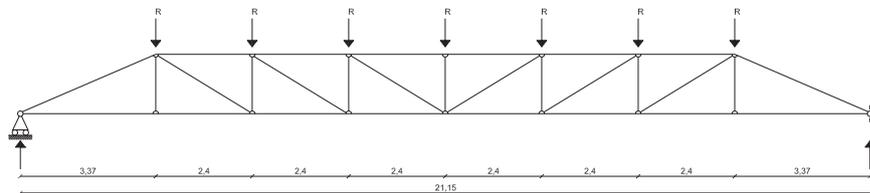
$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,14 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

16.4.3. Dimensionamento trave reticolare di copertura HH'

Ai fini di coprire una luce di 21,15 m si è scelto di utilizzare una trave reticolare in acciaio opportunamente sagomata in relazione all'inclinazione delle falde. La trave è vincolata agli estremi su setti in c.a. portanti di larghezza 40 cm. Il modello statico considerato per il dimensionamento è il seguente:

Fig. 16.35. - Schema statico di trave reticolare di copertura HH'.

Cfr. Tav. 102.



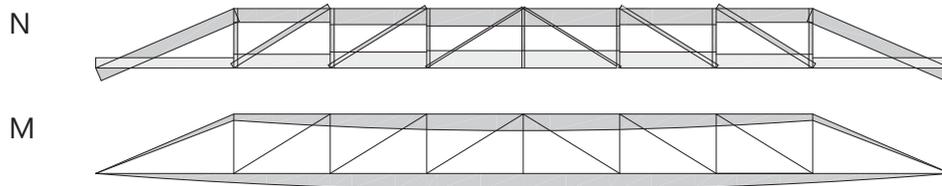
Si è scelto di dimensionare la trave reticolare più lunga in quanto risulta quella più gravosa.

Azioni interne

Per il calcolo delle azioni interne asta per asta è stato utilizzato un software numerico e risultano¹⁴:

Fig. 16.36. - Azioni assiali (N) e momento flettente (M).

Cfr. Tav. 102.



Corrente superiore più compresso:	N=643 kN	M=7,0 kNm
Corrente obliquo più compresso:	N=365 kN	M=4,1 kNm
Corrente inferiore più teso:	N=609 kN	M=7,0 kNm
Montante verticale più compresso:	N=106 kN	M=0,0 kNm
<u>Diagonale più teso:</u>	N=204 kN	M=0,0 kNm

¹⁴ Vengono riportate le azioni assiali N più gravose di ogni asta e il grafico del momento agente.



Successivamente sono stati dimensionati e verificati i singoli profili (corrente superiore, corrente obliquo, corrente inferiore, montante verticale, diagonale) sia a trazione che a compressione.

Il carico agente R sui nodi della trave reticolare è pari a 42,29 kN (Reazione vincolare della trave secondaria (8-HI) moltiplicata per due, in quanto sul nodo agiscono due travi secondarie).

La reazione vincolare agli estremi della trave reticolare è pari a 152,16 kN.

Corrente superiore (compressa)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **UPN 220**.

$$N_{Ed}^{15} = 674,8 \text{ kN} \quad l_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 187,53 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo UPN 220:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
7480	53800000	394000

Tab. 16.32. - Caratteristiche profilo UPN 220.

$$N_{cr(asse\ yy)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}) / l_0^2 = 19358817,8 \text{ N}$$

$$N_{cr(asse\ zz)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{zz}) / l_0^2 = 1417727,55 \text{ N}$$

Il profilo è stato verificato in entrambi gli assi (yy e zz) considerando le opportune curve d'instabilità.

Sezione trasversale	Limiti	Inflexione intorno all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S460	
Sezioni piene, ad U e T 		qualunque	c	c	
Sezioni ad L 		qualunque	b	b	
Curva di instabilità	a ₀	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Fig. 16.37. - Curve d'instabilità per le varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere:

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1$$

dove

N_{Ed} è l'azione di compressione di calcolo,

N_{b,Rd} è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa, data da (per le sezioni di classe 1, 2, 3):

$$N_{b,Rd} = (\chi \cdot A \cdot f_{yk}) / \gamma_{m1}$$

¹⁵Tiene in considerazione anche del momento sollecitante.



I coefficienti χ dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale λ , dalla seguente formula:

$$\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{(\Phi^2 - \lambda^2)}]$$

Dove $\Phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2]$

α è il fattore di imperfezione ricavato dalla Tab. 16.37.

λ è la snellezza adimensionale pari a (per le sezioni di classe 1, 2, 3):

_Verifica di stabilità lungo l'asse yy

$$N_{Ed} = 674,8 \text{ kN} \quad l_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk})/N_{cr(asse yy)}]} = 0,32$$

$$\alpha^{16} = 0,49$$

$$\Phi = 0,58$$

$$\chi = 0,94 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 1814,28 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 674,8/1814,28 = 0,37$$

Verificato

_Verifica di stabilità lungo l'asse zz

$$N_{Ed} = 674,8 \text{ kN} \quad l_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk})/N_{cr(asse zz)}]} = 1,18$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 1,43$$

$$\chi = 0,45 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 873,00 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 674,8/873,00 = 0,77$$

Verificato

Corrente obliquo superiore (compresso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **UPN 220**.

$$N_{Ed} = 383 \text{ kN} \quad l_0 = 3,68 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 250,25 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo UPN 220:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
7480	53800000	394000

Tab. 16.33. -
Caratteristiche profilo
UPN 220.

¹⁶ Il fattore di imperfezione ricavato dalla Tab. 16.37.



$$N_{cr(asse\ yy)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}) / l_0^2 = 8233901,7\text{ N}$$

$$N_{cr(asse\ zz)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{zz}) / l_0^2 = 603003,21\text{ N}$$

_Verifica di stabilità lungo l'asse yy

$$N_{Ed} = 383\text{ kN} \quad l_0 = 3,68\text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk}) / N_{cr(asse\ yy)}]} = 0,49$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,69$$

$$\chi = 0,85 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 1664,80\text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 383/1664,80 = 0,23$$

Verificato

_Verifica di stabilità lungo l'asse zz

$$N_{Ed} = 383\text{ kN} \quad l_0 = 3,68\text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk}) / N_{cr(asse\ zz)}]} = 1,80$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 2,52$$

$$\chi = 0,23 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 458,38\text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 383/458,38 = 0,84$$

Verificato

Montante verticale (compresso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **L 50x50x5**.

$$N_{Ed} = 106\text{ kN} \quad l_0 = 1,50\text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 11,51\text{ cm}^2$$

Doppio profilo L 50x50x5:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
960	219200	219200

$$N_{cr(asse\ yy)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}) / l_0^2 = 201918,95\text{ N}$$

$$N_{cr(asse\ zz)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{zz}) / l_0^2 = 201918,95\text{ N}$$

Essendo il valore del momento di inerzia identico lungo entrambi gli assi yy e zz la verifica a stabilità verrà eseguita solo lungo l'asse yy.

Tab. 16.3 . -
Caratteristiche profilo
L 50x50x5.



_Verifica di stabilità lungo l'asse yy

$$N_{Ed} = 106 \text{ kN} \quad l_0 = 1,50 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(A \cdot f_{yk}) / N_{cr(asse yy)}]} = 1,12$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi = 1,28$$

$$\chi = 0,53 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 132,20 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 106/132,20 = 0,80$$

Verificato

Corrente inferiore (teso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **UPN 120**.

$$N_{Ed} = 667 \text{ kN} \quad l_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 185,36 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo UPN 120:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
3400	7280000	864000

Tab. 16.35. -
Caratteristiche profilo
UPN 120.

$$N_{b,Rd} = (A \cdot f_{yk}) / \gamma_{m1} = 890,48 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 667/890,48 = 0,75$$

Verificato

Diagonale (teso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **L 50x50x5**.

$$N_{Ed} = 204 \text{ kN} \quad l_0 = 2,82 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 78,27 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo L 50x50x5:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
960	219200	219200

Tab. 16.36. -
Caratteristiche profilo
L 50x50x5.

$$N_{b,Rd} = (A \cdot f_{yk}) / \gamma_{m1} = 251,43 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 204/251,43 = 0,81$$

Verificato



16.5. Dimensionamento e verifica del solaio della galleria

16.5.1. Lamiera grecata

Per il solaio della galleria si è scelto di utilizzare una lamiera grecata tipo "Hi-Bond A75 P.760" con le seguenti caratteristiche geometriche:

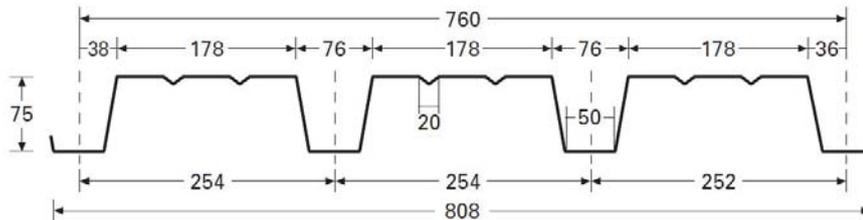


Fig. 16.38. - Sezione quotata lamiera grecata tipo "Hi-Bond A75 P.760"

Si è scelto di adottare lo schema statico di una trave appoggio-appoggio con carico uniformemente distribuito e con luce pari a 2,40 m. Le caratteristiche statiche della lamiera risultano:

Spessore [mm]	1,20
$P_{lamiera}$ [kN/m ²]	0,16

Si è verificato che il carico agente sulla lamiera abbia un valore minore rispetto a quello tabellato.

Spess. Thick. Epaiss. Dicke mm	J cm ⁴ /m	Wp cm ³ /m	Wn cm ³ /m	Distanza fra gli appoggi in metri - Span in meters - Entr'axe des solives - Spannweite in Metern																	
				2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00
0,60	81,22	17,55	14,73	306	243	191	153	124	102	85	72	61	52	45	39	34	30	27	24	21	19
0,70	98,17	20,38	18,26	356	293	231	185	150	124	103	87	74	63	55	48	42	37	32	29	26	23
0,80	115,35	23,63	21,93	412	345	271	217	176	145	121	102	87	74	64	56	49	43	38	34	30	27
1,00	148,09	30,15	29,59	526	442	348	279	226	187	156	131	111	96	83	72	63	55	49	43	39	35
1,20	178,92	36,59	37,21	639	534	420	337	274	225	188	158	135	115	100	87	76	67	59	53	47	42
					537	457	394	343	302	267	239	214	193	175	160	146	134	124	114	106	99

Tab. 16.37. - Caratteristiche meccaniche della lamiera scelta.

Il carico di progetto è stato ottenuto attraverso la combinazione SLE rara¹⁷:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} = 0 + 1,54 + 4,00 = 5,34 \text{ kN/m}^2$$

Di conseguenza è stata scelta una lamiera di spessore 1,2 mm e interasse 2,85 m in modo da poter sopportare ai carichi agenti sul solaio.

Carico massimo resistente lamiera: 5,34 kN/m²
 Carico di progetto: 5,34 kN/m²

Di conseguenza il valore di G_1 (peso lamiera + getto in cls) risulta pari a 1,79 kN/m².

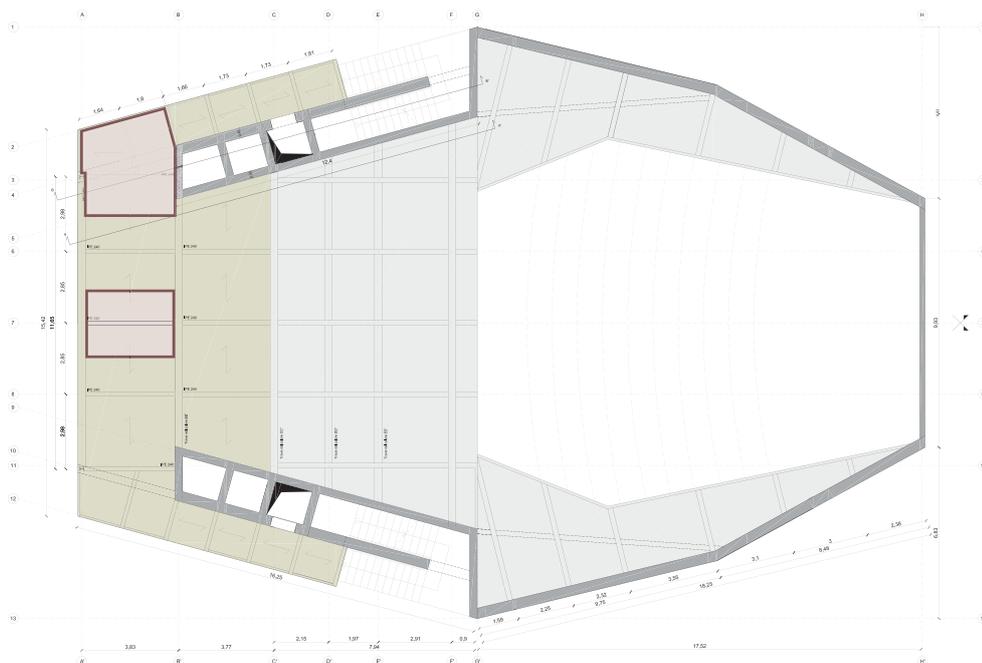
¹⁷ Con Q_{k1} rappresenta la destinazione d'uso e con G_1 viene calcolato il peso della lamiera più il getto in cls.

16.5.2. Dimensionamento travi secondarie

L'orditura secondaria della struttura è riconducibile ad uno schema statico di semplice trave appoggio-appoggio uniformemente caricata. Sono state analizzate le due tipologie di travi secondarie. In particolare è stata analizzata la trave secondaria 7-AB e la trave 3-AB. Di seguito è riportata la pianta strutturale (Fig. 16.32) del piano di copertura con l'area di influenza delle travi secondarie in oggetto.

Fig. 16.39. - Pianta strutturale: piano galleria. Area d'influenza trave secondaria 7-AB e 3-AB. Fuori scala.

Cfr. Tav. 103.

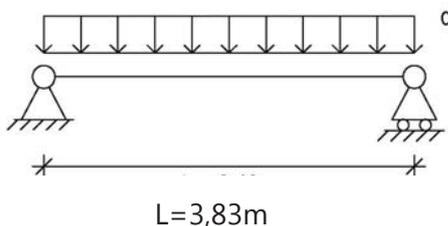


Trave secondaria 7-AB

Stato Limite di Esercizio

Per la determinazione del carico q agente sulla trave, è stata utilizzata la combinazione di carico rara $8,37 \text{ kN/m}^2$ moltiplicata per la larghezza dell'area di influenza i .

Fig. 16.40. - Schema statico trave secondaria 7-AB.



$$q_{\text{tot,SLE}} = (G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}) \cdot i = 8,37 \cdot 2,85 = 23,85 \text{ kN/m}$$

Tale carico non tiene in considerazione il peso proprio della trave (G_1 è riferito al pacchetto della lamiera grecata).

Per il predimensionamento della trave secondaria maggiormente caricata si impone che la deformazione massima del profilo sia minore del valore riportato nella Tab. 16.38.



Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	
<i>In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.</i>		

Tab. 16.38. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Per il dimensionamento della trave si procede con il calcolo dell'inerzia I imponendo la freccia massima in mezzera pari a 1/250 della luce:

$$I = (5 \cdot 250 \cdot q \cdot L^3) / 384 \cdot E = 2076,66 \text{ cm}^4$$

Si è scelto da prontuario un profilo **IPE 240** con le seguenti caratteristiche:

b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]	W _{pl} [mm ³]
120	6,2	9,8	15	3910	38920000	366600

Tab. 16.39. - Caratteristiche profilo IPE 240.

Determinato il profilo è ora possibile determinare la combinazione di carico rara comprensiva del peso proprio della trave:

$$(23,85 + 0,307) \text{ kN/m} = 24,15 \text{ kN/m}$$

_Verifiche a deformazione

$$\delta_2 = ((5/384) \cdot P_{Q1,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 4,00 \cdot 3830^4) / (210000 \cdot 38920000) = 1,37 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = ((5/384) \cdot P_{tot,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 24,15 \cdot 3830^4) / (210000 \cdot 38920000) = 8,17 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 1,37 / 3830 < 1/300 \quad \text{Verificato}$$

$$\delta_{max} / L = 8,17 / 3830 < 1/250 \quad \text{Verificato}$$

Stato Limite Ultimo

Le verifiche relative alle caratteristiche resistenti della sezione sono effettuate utilizzando un valore q ottenuto tramite la combinazione fondamentale di carico agli SLU:

$$q_{tot,SLU} = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{1,k}$$

$$q_{tot,SLU} = (1,3 \cdot 1,79 + 1,5 \cdot 2,58 + 1,5 \cdot 4,00) \cdot 2,85 = 34,75 \text{ kN/m}$$



_Verifiche di resistenza:

Flessione monoassiale (retta)

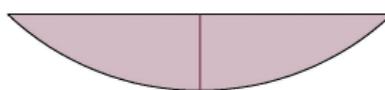
La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

Il momento risulta:

$$M_{c,Rd} = (366600 \cdot 275) / 1,05 = 96014285 \text{ Nmm} = 96,01 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzeria è pari a:



63,72 kNm

$$M_{Ed} = (q_{tot,SLU} \cdot L^2) / 8 = (34,75 \cdot 3,83^2) / 8 = 63,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,66 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

Verifica a taglio

$V_{c,Rd}$ rappresenta la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione e vale:

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

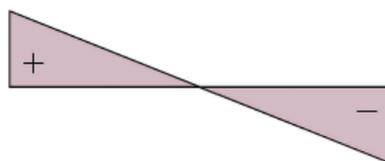
Dove A_v è l'area resistente a taglio e per i profilati ad I e ad H, caricati nel piano dell'anima, si può assumere:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 19,13 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = (19,13 \cdot 275) / (\sqrt{3} \cdot 1,05) = 289230 \text{ N} = 289,23 \text{ kN}$$

Il taglio agente risulta:

67,13 kN



67,13 kN

$$V_{Ed} = (q_{tot,SLU} \cdot L) / 2 = ((34,75 + 0,31) \cdot 3,83) / 2 = 67,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,23 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$



Trave secondaria 3-AB

Stato Limite di Esercizio

Per la determinazione del carico q agente sulla trave, è stata utilizzata la combinazione di carico rara 8,37 kN/m² moltiplicata per la larghezza dell'area di influenza i.

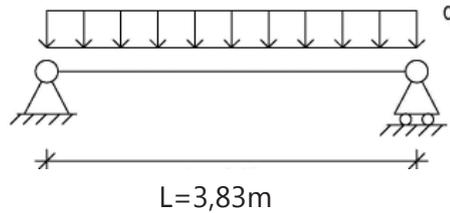


Fig. 16.41. - Schema statico trave secondaria 3-AB.

$$q_{tot,SLE} = (G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}) \cdot i = 8,37 \cdot 3,77 = 31,54 \text{ kN/m}$$

Tale carico non tiene in considerazione il peso proprio della trave (G_1 è riferito al pacchetto della lamiera grecata).

Per il dimensionamento della trave si procede con il calcolo dell'inerzia I imponendo la freccia massima in mezzeria pari a 1/250 della luce:

$$I = (5 \cdot 250 \cdot q \cdot L^3) / 384 \cdot E = 2747,02 \text{ cm}^4$$

Si è scelto da prontuario un profilo **IPE 240** con le seguenti caratteristiche:

b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]	W _{pl} [mm ³]
120	6,2	9,8	15	3910	38920000	366600

Tab. 16.40. - Caratteristiche profilo IPE 240.

Determinato il profilo è ora possibile determinare la combinazione di carico rara comprensiva del peso proprio della trave:

$$(31,54 + 0,307) \text{ kN/m} = 31,85 \text{ kN/m}$$

_Verifiche a deformazione

$$\delta_2 = ((5/384) \cdot P_{Q1,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 4,00 \cdot 3830^4) / (210000 \cdot 38920000) = 1,37 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = ((5/384) \cdot P_{tot,SLE} \cdot L^4) / (E \cdot I) = ((5/384) \cdot 31,85 \cdot 3830^4) / (210000 \cdot 38920000) = 10,81 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 1,37 / 3830 < 1/300 \quad \text{Verificato}$$

$$\delta_{max} / L = 10,81 / 3830 < 1/250 \quad \text{Verificato}$$

Stato Limite Ultimo

Le verifiche relative alle caratteristiche resistenti della sezione sono effettuate utilizzando un valore q ottenuto tramite la combinazione fondamentale di carico agli SLU:



PROGETTO STRUTTURALE

$$q_{\text{tot,SLU}} = (1,3 \cdot 1,79 + 1,5 \cdot 2,58 + 1,5 \cdot 4,00) \cdot 3,77 = 45,97 \text{ kN/m}$$

_Verifiche di resistenza:

Flessione monoassiale (retta)

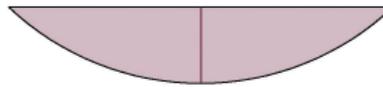
La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

Il momento risulta:

$$M_{c,Rd} = (366600 \cdot 275) / 1,05 = 96014285 \text{ Nmm} = 96,01 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzeria è pari a:



84,29 kNm

$$M_{Ed} = (q_{\text{tot,SLU}} \cdot L^2) / 8 = (45,97 \cdot 3,83^2) / 8 = 84,29 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,88 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

Verifica a taglio

$V_{c,Rd}$ rappresenta la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione e vale:

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

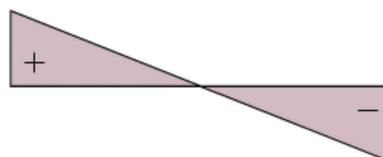
Dove A_v è l'area resistente a taglio e per i profilati ad I e ad H, caricati nel piano dell'anima, si può assumere:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 19,13 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = (1913 \cdot 275) / (\sqrt{3} \cdot 1,05) = 289230 \text{ N} = 289,23 \text{ kN}$$

Il taglio agente risulta:

88,62 kN



88,62 kN

$$V_{Ed} = (q_{\text{tot,SLU}} \cdot L) / 2 = ((45,97 + 0,307) \cdot 3,83) / 2 = 88,62 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,31 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$



16.5.3. Dimensionamento trave reticolare galleria BB'

Ai fini di coprire una luce di 9,92 m si è scelto di utilizzare una trave reticolare in acciaio. La trave è vincolata agli estremi su setti in c.a.p. portanti di larghezza 40 cm. Il modello statico considerato per il dimensionamento è il seguente:

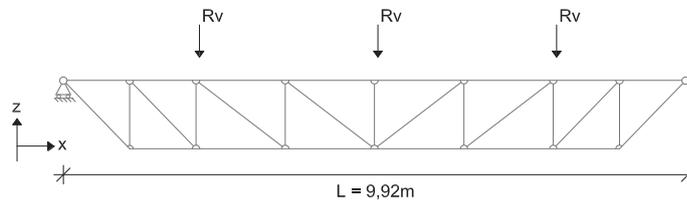


Fig. 16.42. - Schema statico trave reticolare galleria BB'.

Cfr. Tav. 103.

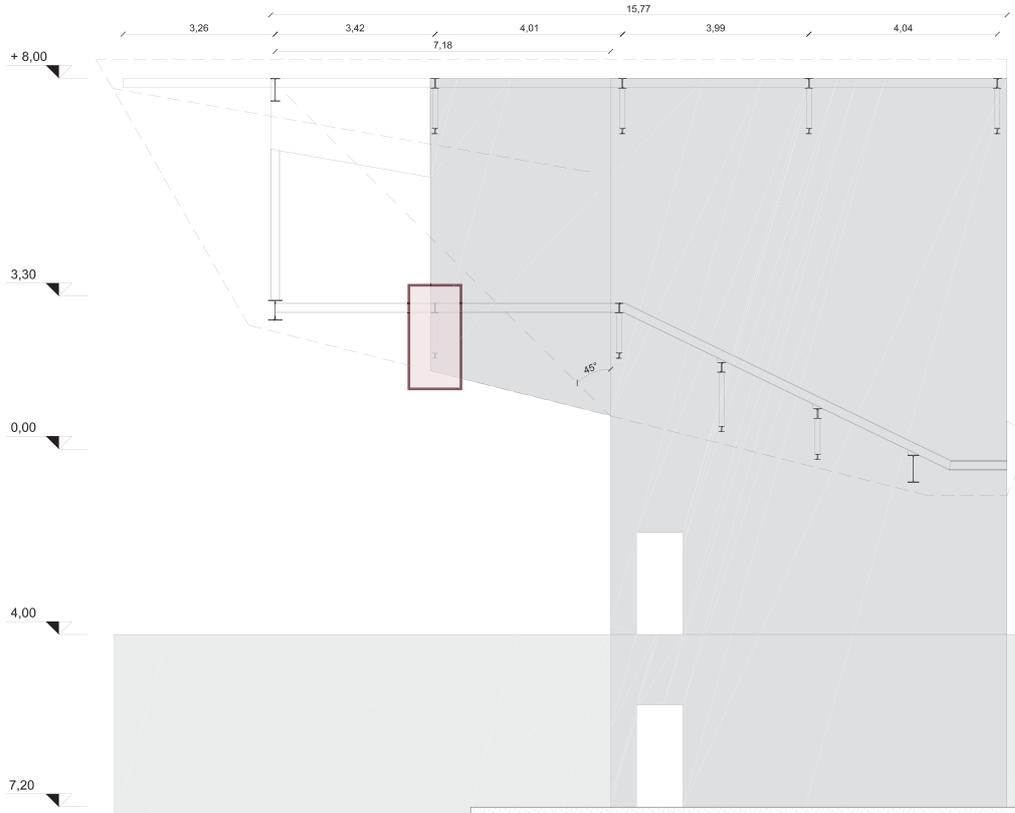


Fig. 16.43. - Sezione strutturale trasversale.

Cfr. Tav. 103.

Azioni assiali (N)

Per il calcolo delle azioni interne asta per asta è stato utilizzato un software numerico e risultano¹⁸:

Corrente superiore più compresso:	503 kN
Corrente inferiore più teso:	439 kN
Montante verticale più compresso:	189 kN
Diagonale più teso:	246 kN

Successivamente sono stati dimensionati e verificati i singoli profili (corrente superiore, corrente obliquo, corrente inferiore, montante verticale, diagonale) sia a trazione che a compressione.

Il carico agente¹⁹ R sui nodi della trave reticolare è pari a 134,27 kN

¹⁸ Vengono riportate le azioni assiali N più gravose di ogni asta.

¹⁹ Reazione vincolare della trave secondaria (7-AB) moltiplicata per due, in quanto sui nodi agiscono due travi secondarie.



Corrente superiore (compresso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **UPN 220**.

$$N_{Ed} = 503 \text{ kN} \quad l_0 = 2,85 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 139,79 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo UPN 220:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
7480	53800000	394000

Tab. 16.41. -
Caratteristiche profilo
UPN 220.

$$N_{cr(asse yy)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}) / l_0^2 = 13728136,7 \text{ N}$$

$$N_{cr(asse zz)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{zz}) / l_0^2 = 1005369,12 \text{ N}$$

Il profilo è stato verificato in entrambi gli assi (yy e zz) considerando le opportune curve d'instabilità²⁰.

Successivamente vengono riportate solamente le verifiche, in quanto il procedimento è stato illustrato precedentemente con il dimensionamento e verifica dei profili della trave reticolare di copertura HH'.

_Verifica di stabilità lungo l'asse yy

$$N_{Ed} = 503 \text{ kN} \quad l_0 = 2,85 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk}) / N_{cr(asse yy)}]} = 0,38$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,61$$

$$\chi = 0,91 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 1780,81 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 503/1780,81 = 0,28$$

Verificato

_Verifica di stabilità lungo l'asse zz

$$N_{Ed} = 503 \text{ kN} \quad l_0 = 2,85 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(Af_{yk}) / N_{cr(asse zz)}]} = 1,40$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 1,77$$

$$\chi = 0,35 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 687,11 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 503/687,11 = 0,73$$

Verificato

²⁰ Vedi Tab. 16.37 Curve d'instabilità per le varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.



Montante verticale (compresso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **L 50x50x6**.

$$N_{Ed} = 189 \text{ kN} \quad l_0 = 1,10 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 20,52 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo L 50x50x6:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
1138	256800	256800

Tab. 16.42. -
Caratteristiche profilo
L 50x50x6.

$$N_{cr(asse\ yy)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{yy}) / l_0^2 = 439874,40 \text{ N}$$

$$N_{cr(asse\ zz)} = (\pi^2 \cdot E \cdot I_{zz}) / l_0^2 = 439874,40 \text{ N}$$

Essendo il valore del momento di inerzia identico lungo entrambi gli assi yy e zz la verifica a stabilità verrà eseguita solo lungo l'asse yy.

_Verifica di stabilità lungo l'asse yy

$$N_{Ed} = 189 \text{ kN} \quad l_0 = 1,10 \text{ m}$$

$$\lambda = \sqrt{[(A \cdot f_{yk}) / N_{cr(asse\ yy)}]} = 0,82$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi = 0,94$$

$$\chi = 0,71 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 211,63 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 189/211,63 = 0,89$$

Verificato

Corrente inferiore (teso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **UPN 100**.

$$N_{Ed} = 439 \text{ kN} \quad l_0 = 2,85 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 122,00 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo UPN 100:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
2700	2060000	293000

Tab. 16.43. -
Caratteristiche profilo
UPN 100.

$$N_{b,Rd} = (A \cdot f_{yk}) / \gamma_{m1} = 707,14 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 439/707,14 = 0,62$$

Verificato



Diagonale (teso)

Il profilo è stato dimensionato e verificato utilizzando come sforzi sollecitanti i maggiori. Per la verifica si è scelto un doppio profilo **L 50x50x6**.

$$N_{Ed} = 246 \text{ kN} \quad l_0 = 1,79 \text{ m}$$

$$I = (N_{Ed} \cdot l_0^2) / (\pi^2 \cdot E) = 94,58 \text{ cm}^2$$

Doppio profilo L 50x50x6:

A [mm ²]	I _{yy} [mm ⁴]	I _{zz} [mm ⁴]
1138	256800	256800

Tab. 16.44. -
Caratteristiche profilo
L 50x50x6.

$$N_{b,Rd} = (A \cdot f_{yk}) / \gamma_{m1} = 298,05 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica: } N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1 \quad \text{-->} \quad 246/298,05 = 0,83$$

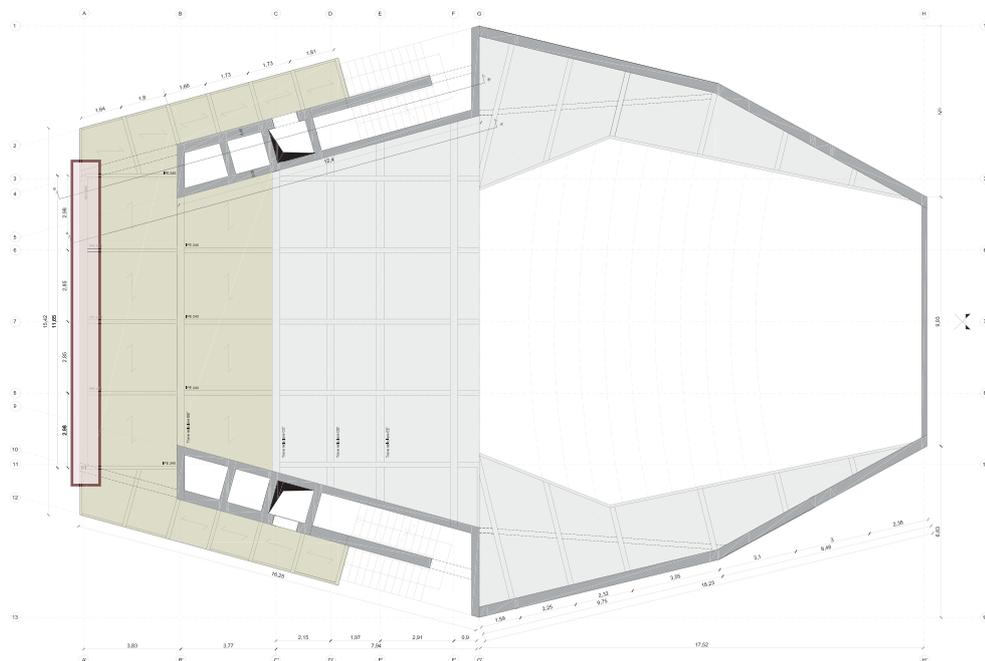
Verificato

16.5.4. Dimensionamento trave AA'-4 10

Si procede con il dimensionamento e verifica della trave AA'-4 10, relativa al solaio della galleria. Si è scelto di analizzare questa trave in quanto presenta una particolarità: è sostenuta agli estremi da due tiranti provenienti dal setto in c.a. della copertura che successivamente verranno dimensionati.

Fig. 16.44. - Pianta
strutturale: piano
galleria. Trave sbalzo
galleria AA'-4 10.
Fuori scala.

Cfr. Tav. 103.



Per calcolare il carico effettivo sulla trave principale viene usato uno schema isostatico con trave appoggio-appoggio caricata con pesi verticali concentrati, P, che rappresentano la travatura secondaria, da cui si ricava il diagramma del momento. Il valore di P e P₂ viene ricavato come somma delle forze risultanti derivanti dal taglio della struttura secondaria²¹.

²¹ Il valore di P agente deriva dal taglio della trave secondaria AB-6=AB-7=AB-8. I valori agli estremi P₂ derivano dal taglio proveniente dalla trave secondaria AB-3=AB-11.

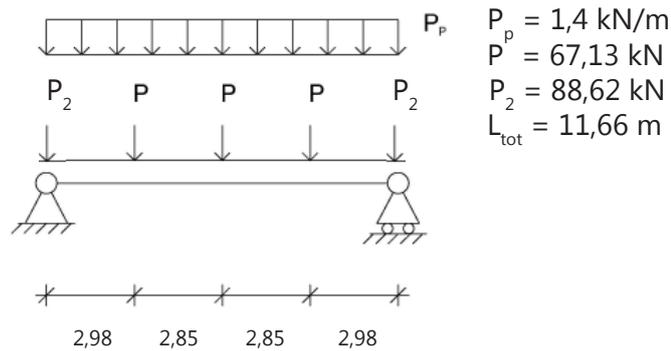


Fig. 16.45. - Schema statico trave AA'-4 10.

Il carico agente sulla struttura primaria è fornito dalle forze di taglio delle travi secondarie e da tutto ciò che esse a loro volta portano, mediante la combinazione di carico in stato limite ultimo.

Il diagramma del taglio risultante dallo schema statico utilizzato è il seguente:

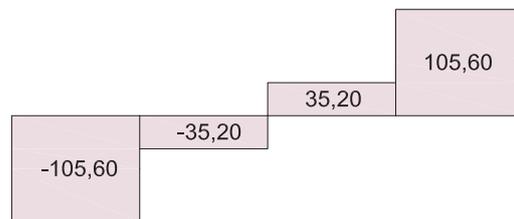


Fig. 16.46. - Diagramma del Taglio.

Il diagramma del momento sollecitante risultante dallo schema statico utilizzato è il seguente:

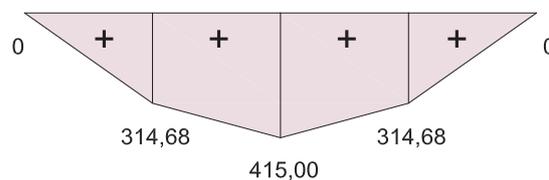


Fig. 16.47. - Diagramma del Momento.

La struttura reale viene quindi sostituita con una fittizia di servizio in cui, per l'analogia di Mohr, il diagramma del momento risulta essere il carico agente.

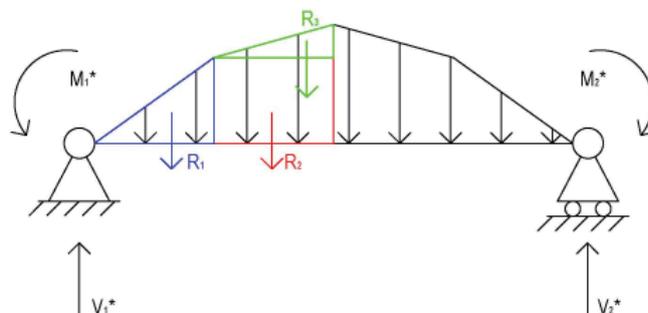


Fig. 16.48. - Carico trave fittizia.

Essendo la struttura simmetrica per la determinazione delle reazioni vincolari e del momento agente, si è considerata metà struttura. Di seguito sono riportati i valori V_1^* ; M_1^* .



PROGETTO STRUTTURALE

$$R_1 = 468,88 \text{ kNm}^2/\text{EI}$$

$$R_2 = 896,85 \text{ kNm}^2/\text{EI}$$

$$R_3 = 142,95 \text{ kNm}^2/\text{EI}$$

$$V_1^* = V_2^* = 1508,68 \text{ kNm}^2/\text{EI}$$

$$M_1^* = M_2^* = 5579,73 \text{ kNm}^3/\text{EI}$$

Disegnato il diagramma del momento della struttura fittizia, si può conoscere la freccia massima che va verificata in modo da ottenere:

$$(f_{\max,k}/\text{EI}) \leq L/250$$

E' stata calcolata l'inerzia della trave nel seguente modo:

$$I = (f_{\max,k} \cdot 250) / L \cdot E = 569685466,1 \text{ mm}^4$$

Il profilo scelto è: **HEA 450**

Caratteristiche profilo:

Tab. 16.45. -
Caratteristiche profilo
HEA 450.

b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]	W _{pl} [mm ³]
300	11,5	21	27	17800	637200000	32160000

Essendo l'inerzia della HEA 450 superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta:

Verificato

Stato Limite Ultimo

Flessione monoassiale (retta)

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk})/\gamma_{M0}$$

Il momento risulta:

$$M_{c,Rd} = (32160000 \cdot 275)/1,05 = 842285714 \text{ Nmm} = 842,29 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzera è pari a:

$$M_{Ed} = 415,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,49 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$



Verifica a taglio

$V_{c,Rd}$ rappresenta la resistenza di calcolo a taglio, in assenza di torsione e vale:

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

Dove A_v è l'area resistente a taglio e per i profilati ad I e ad H, caricati nel piano dell'anima, si può assumere:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 7142,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = (A_v \cdot f_{yk}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = (7142,5 \cdot 275) / (\sqrt{3} \cdot 1,05) = 1080023 \text{ N} = 1080 \text{ kN}$$

Il taglio agente risulta:

$$V_{Ed} = 105,60 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1 \quad 0,10 \leq 1 \quad \text{Verificato}$$

16.5.5. Predimensionamento tiranti

In relazione alla reazione vincolare della trave appena dimensionata AA' 4-10, è possibile fare un predimensionamento dei tiranti provenienti dai setti in c.a. della copertura, che contribuiscono a reggere il solaio della galleria.

Dalla relazione $\sigma = N/A$ è possibile tramite la formula inversa ricavare l'area di ferro necessaria che risulta:

$$A = (197,48 \cdot 10^3 \cdot 1,05) / 275 = 754,01 \text{ mm}^2$$

Pertanto i tiranti risulteranno dei profili **IPE 100**, in quanto l'area di questi profili (1030 mm^2) è maggiore rispetto a quella richiesta ($754,01 \text{ mm}^2$).

Verificato

16.6. Setto in c.a.p.

Il calcestruzzo armato deriva dalla combinazione di due materiali complementari: il calcestruzzo (resistente alla compressione) e l'acciaio (resistente a trazione).

A differenza del calcestruzzo armato, dove i due materiali agiscono a partire dallo stato naturale, nel c.a.p. si fa subire all'acciaio una tensione preventiva. Questo stato di tensione introduce nel calcestruzzo armato indurito uno sforzo di compressione preliminare. Applicando questo trattamento, si determina uno stato di precompressione prima dell'applicazione dei carichi esterni e si agisce in maniera tale che l'effetto differenziale della precompressione e dei carichi lasci nell'elemento solo zone compresse.

La precompressione può essere applicata al calcestruzzo mediante post-tensione o pre-tensione delle armature.

16.6.1. Predimensionamento setto

Il vano scale è composto da due setti in c.a. che collaborano tra di loro e costituiscono un unico sistema che scarica a terra i carichi.

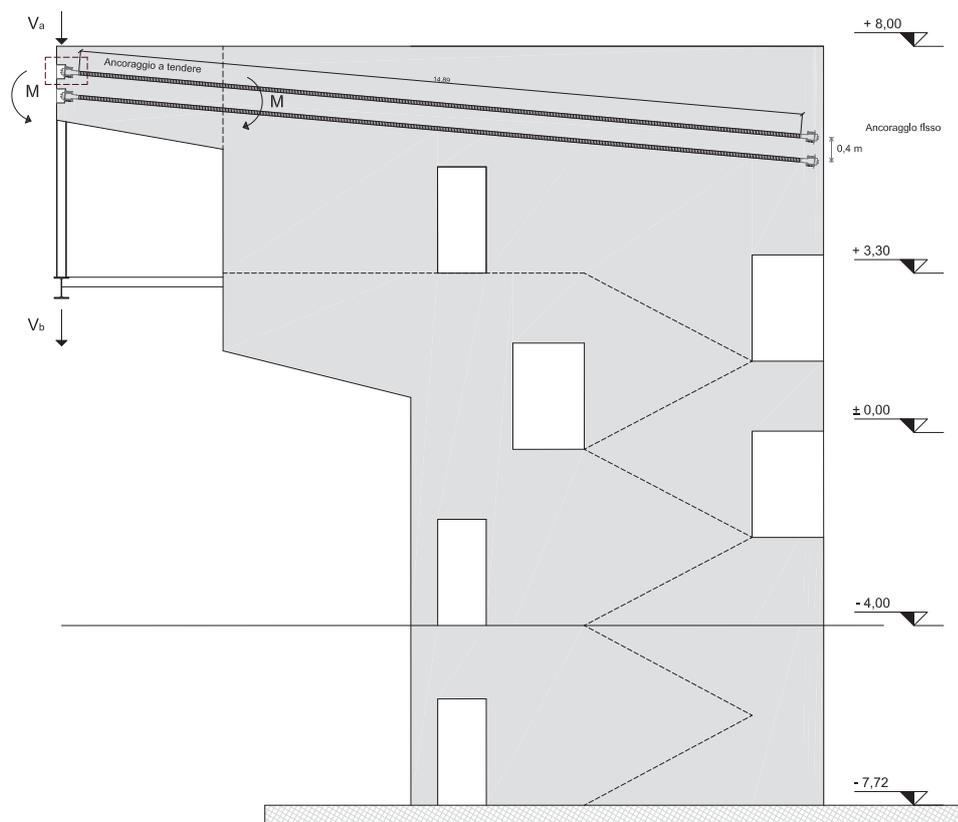
Sul setto interno agiscono le reazioni vincolari delle travi reticolari di copertura e del solaio della galleria che sono state precedentemente calcolate.

Sul setto esterno agiscono le reazioni vincolari provenienti dalle travi AA' della galleria e BB' di copertura.

Lo studio si è concentrato sull'analisi del setto esterno in quanto più gravoso in termini di carico e sbalzo. Per motivi architettonici il setto risulta sagomato come nell'immagine. Per contrastare gli sforzi di trazione che si creano in prossimità dello sbalzo, si è scelto di inserire dei cavi di post-tensione per limitare tali sforzi.

Fig. 16.49. - Setto esterno in c.a.p.

Cfr. Tav. 106.



Combinazioni di carico per predimensionamento setto

Sono state effettuate tre diverse combinazioni di carico per determinare il momento agente sull'incastro. Sono state poi calcolate le tensioni di trazione sulla sezione resistente e poi ponendo nulli gli sforzi di trazione si è determinata l'azione assiale da applicare ai cavi di post-tensione.

L'azione assiale per determinare il tiro dei cavi risulta una media delle tre combinazioni.

Si riportano le reazioni vincolari agenti sul setto:

Tab. 16.46. - Reazioni vincolari agenti sul setto esterno in c.a.p.

		SLU [kN]	SLE [kN]	G [kN]
Copertura	Trave BB'	165	137,5	130
Galleria	Trave AA'	326	260	197



Combinazione SLU

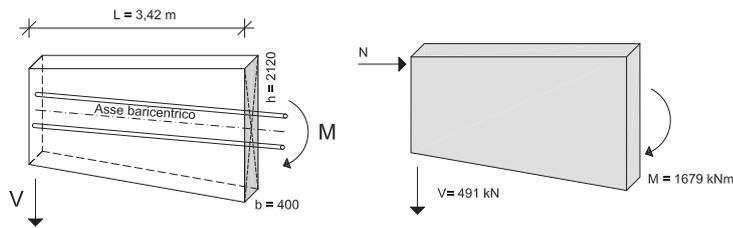


Fig. 16.50. -
Combinazione
di carico SLU per
predimensionamento
setto.

Cfr. Tav. 106.

Il momento agente risulta:

$$M = 491 \cdot 3,42 = 1679 \text{ kNm}$$

$$\sigma = (1679 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2 = 5,60 \text{ N/mm}^2$$

Ponendo $\sigma = 0$ si ha:

$$[(1679 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2] - N / (400 \cdot 2120) = 0$$

$$N = 4752 \text{ kN}$$

Combinazione SLE

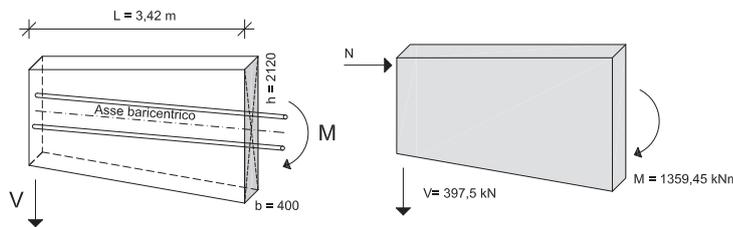


Fig. 16.51. -
Combinazione
di carico SLE per
predimensionamento
setto.

Cfr. Tav. 106.

Il momento agente risulta:

$$M = 397,5 \cdot 3,42 = 1359,45 \text{ kNm}$$

$$\sigma = (1359,45 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2 = 4,54 \text{ N/mm}^2$$

Ponendo $\sigma = 0$ si ha:

$$[(1359,45 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2] - N / (400 \cdot 2120) = 0$$

$$N = 3847,5 \text{ kN}$$

Combinazione G

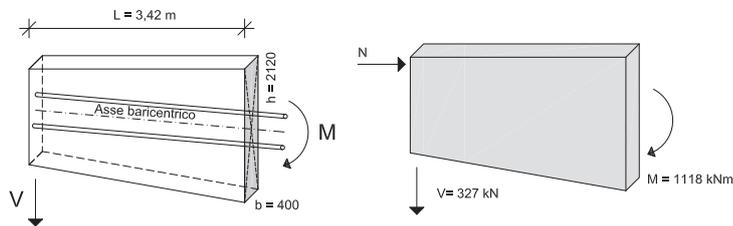


Fig. 16.52. -
Combinazione
di carico G per
predimensionamento
setto.

Cfr. Tav. 106.

Il momento agente risulta:

$$M = 327 \cdot 3,42 = 1118 \text{ kNm}$$

$$\sigma = (1118 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2 = 3,73 \text{ N/mm}^2$$

Ponendo $\sigma = 0$ si ha:

$$[(1118 \cdot 10^6 \cdot 6) / 400 \cdot 2120^2] - N / (400 \cdot 2120) = 0$$

$$N = 3164 \text{ kN}$$



16.6.2. Predimensionamento cavi di post-tensione

Utilizzando come N la media delle combinazioni precedentemente calcolate (3921 kN) è possibile determinare la sezione dei cavi di post-tensione.

Scelta dei trefoli

Secondo il D.M. 14/09/2005 le tensioni nei trefoli devono essere limitate ai seguenti:

$$\sigma_{spi} \leq (f_{p(1)k} / \gamma_{m,s}) \text{ con } \gamma_{m,s} = 1,12 \text{ (al tiro)}$$

dove:

σ_{spi} è la massima tensione dell'acciaio all'atto della precompressione
 $f_{p(1)k}$ è la tensione caratteristica all'1% di deformazione sotto carico

Risulta:

$$\sigma_{spi} \leq (164 \cdot 10^4) / 1,12 = 146,43 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{sp} \leq (f_{ptk} / \gamma_{m,s}) \text{ con } \gamma_{m,s} = 1,65 \text{ (esercizio)}$$

dove:

σ_{sp} è la massima tensione ammissibile nell'acciaio in esercizio
 f_{ptk} è la tensione caratteristica di rottura

Risulta:

$$\sigma_{sp} \leq (186 \cdot 10^4) / 1,65 = 112,73 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$$

L'area dei trefoli necessari a per conferire uno sforzo di precompressione N è:

$$A_{spi,min} = (\beta \cdot N) / \sigma_{spi} = (1,3 \cdot 3921) / 146,43 \cdot 10^4 = 3481 \text{ mm}^4$$

Considerando una sezione nominale pari a 150 mm² sono necessari 23,2 trefoli. Si è scelto di utilizzarne 24, divisi in **2 cavi da 12 trefoli** l'uno per un tiro massimo di 2678 kN a cavo.

Scelta testata d'ancoraggio

Sono stati individuati due tipologie di ancoraggio: uno fisso e uno a tendere. L'ancoraggio a tendere è costituito da una testa d'ancoraggio sulla quale i trefoli sono bloccati individualmente per mezzo di specifici cunei. La distanza tra gli interassi degli ancoraggi è stata determinata da scheda tecnica del produttore in base al tipo di cemento e dalla forza di tiro.

La scelta dell'ancoraggio è stata determinante nel dimensionamento dello spessore del setto, essendo la distanza minima di un ancoraggio dal bordo non inferiore a X/2+10 mm (dove X è l'interasse degli ancoraggi). Per questo risulta che lo spessore del setto è di 40 cm.

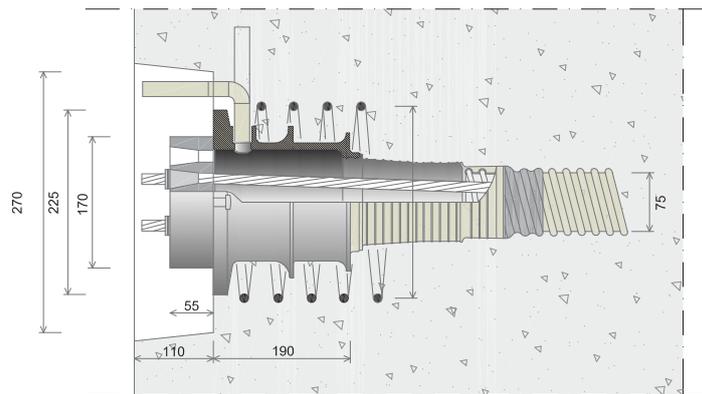


Fig. 16.53. - Sezione ancoraggio a tendere per cavi di post-tensione. Fuori scala.

Cfr. Tav. 106.

L'immagine rappresenta in sezione l'ancoraggio a tendere annegato nel setto in c.a.

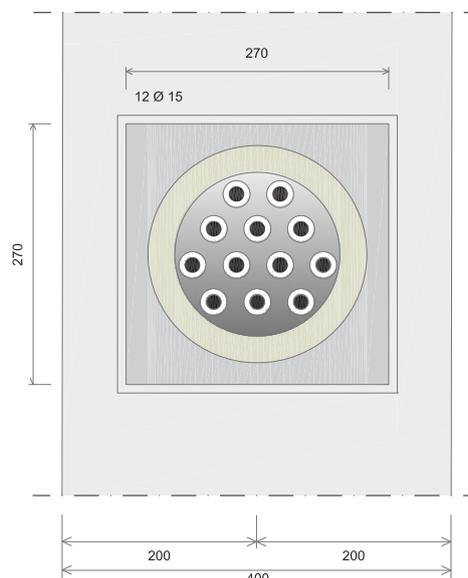


Fig. 16.54. - Piastra di ancoraggio cavi di post-tensione. Fuori scala.

Cfr. Tav. 106.

L'immagine rappresenta lo spessore del setto di 40 cm entro cui è situata la piastra dell'ancoraggio di dimensioni 270x270 mm.



16.7 Progettazione opere nel sottosuolo

Premessa

Le costruzioni in ipogeo sono spesso associate all'idea di costi eccessivi e rischi elevati, sia per quanto riguarda la loro fase di realizzazione sia quella di gestione. Nonostante questo aspetto, buona parte del costruito ha un suo naturale prolungamento al di sotto del piano campagna, non solo con le strutture di fondazione ma con veri e propri spazi interrati con funzioni decisamente diverse da quelle di un mero luogo di transito.

L'edificio dell'auditorium risulta in parte in ipogeo, arrivando fino ad una quota di -7,20 m rispetto al piano campagna, ed è in adiacenza ad edifici esistenti (Edificio 9). Questo porta alla progettazione e realizzazione di un'opera di sostegno con duplice funzione:

- sostenere lo scavo per l'auditorium;
- ridurre il rischio di crollo dell'edificato vicino a seguito dell'intervento di scavo.

Il problema dello scavo è stato affrontato con due diverse tecniche di costruzione in base all'altezza dello scavo da sostenere. In particolare dove lo scavo raggiunge una quota di -7.20 m si è deciso di realizzare una paratia tramite diaframmi in c.a. mentre dove lo scavo è di un'altezza inferiore (-4 m) si è proceduto con un muro controterra di sostegno.

16.7.1. Considerazioni di fattibilità della paratia

A fronte dell'elevata profondità dello scavo si è deciso di realizzare una paratia con un ordine di tiranti²². Prima di procedere con il calcolo e la progettazione del sostegno, è necessaria la conoscenza di dati geotecnici fondamentali riguardanti le caratteristiche del terreno quali: l'angolo di attrito Φ' , la densità del terreno γ e il livello di falda.

Per eseguire un rilievo completo del terreno occorrono principalmente tre tipi di indagini:

- Prove geologiche per individuare la stratigrafia del terreno;
- Prove geotecniche per ricavare le caratteristiche meccaniche del terreno;
- Prove idrauliche per rilevare il livello di falda e permeabilità del terreno.

In questo studio non è stato possibile eseguire le prove sul terreno, infatti, si è proceduto mediante una ricerca in letteratura specifica²³, ipotizzando per l'area di progetto i seguenti dati:

Angolo d'attrito	36°
Densità terreno	19 kN/m ³
Altezza falda ²⁴	4 m

La progettazione, inoltre, è legata alla tecnologia del diaframma che si intende realizzare, in quanto la capacità statica dell'elemento strutturale dipende dalla sua tipologia costruttiva (diaframmi in conglomerato cementizio, palancole, mi-

²² Un diaframma o paratia è una struttura prefabbricata o gettata in opera che viene utilizzata per sostenere scavi artificiali di natura provvisoria o definitiva impedendo lo scivolamento del terreno all'interno dello scavo. La paratia tirantata si utilizza quando la sola paratia non è in grado di reggere la spinta del terreno e si rende necessario l'inserimento al suo interno di tiranti.

²³ Associazione Geotecnica Italiana, D.M. 11 marzo 1988.

²⁴ Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Lombardia 2001.

Tab. 16.47. - Dati terreno da letteratura specifica.

16.7.2. Predimensionamento muro a mensola controterra

Come anticipato nella premessa, dove lo scavo è pari ad un'altezza di 4 m, si è deciso di realizzare un muro a mensola controterra come schematizzato in Fig. 16.58.

Fig. 16.58. - Sezione scavo per la realizzazione del muro a mensola.



La realizzazione del muro prevede uno sbancamento del terreno adiacente, in modo da avere un corridoio di un 1,20 m per il passaggio degli operai e un piano inclinato di 45° per evitare il cedimento del terreno sovrastante.

Il muro di sostegno è stato verificato a scivolamento e ribaltamento attraverso l'utilizzo del metodo Renkinke. Come per la paratia di fondamentale importanza sono i dati iniziali di tipo geotecnico che caratterizzano il terreno in oggetto:

Tab. 16.48. - Dati terreno utilizzati per le verifiche.

Angolo d'attrito (Φ')	36°
Densità terreno (γ_{sat})	19 kN/m ³
Altezza falda ²⁵ (z)	0 m

Per le verifiche del muro, sono stati utilizzati i seguenti dati iniziali:

Tab. 16.49. - Dati iniziali utilizzati per le verifiche.

γ_{cls}	25,00 kPa
γ_{sat}	19,00 kPa
γ_w	10,00 kPa
Φ'	36,00 °
c'	0,00
q	2,00 kPa
k_a	0,26
γ'	9,00

Si è stimato un sovraccarico laterale q pari a 2 kPa e una coesione pari a 0. Il coefficiente di spinta attivo (k_a) è stato calcolato tramite l'utilizzo dell'angolo d'attrito (Φ').

²⁵ A favore di sicurezza si considera il livello di falda ad una quota di ±0.00m.



Successivamente è stata definita la geometria del muro in modo da poter essere verificata.

Geometria:

Spessore muro	0,50 m
Altezza base muro	0,50 m
Altezza del fusto	4,00 m
Altezza totale h_{tot}	4,50 m
Lunghezza braccio sinistro	1,75 m
Lunghezza totale L_{tot}	2,25 m

Tab. 16.50. - Geometria muro a mensola.

Verifica a lungo termine con sovraccarico q applicato.

Si calcolano gli sforzi efficaci verticali, conseguentemente gli sforzi orizzontali e la spinta dell'acqua agente sul muro di sostegno:

σ'_v (0 m)	2,00 kPa
σ'_v (4,50m)	42,5 kPa
u	45,00 kPa
σ'_h (0 m)	0,52 kPa
σ'_h (4,50m)	11,03 kPa

Tab. 16.51. - Sforzi efficaci agenti sul muro controterra.

Andando ad integrare le aree degli sforzi orizzontali e della spinta dell'acqua si ricavano le spinte agenti sul muro e i loro rispettivi bracci rispetto al CIR:

S_T	23,66 kPa	b_{ST}	1,50 m
S_R	2,34 kPa	b_{SR}	2,25 m
U	101,25 kPa	b_u	1,50 m

Tab. 16.52. - Spinte agenti sul muro e rispettivi bracci dal CIR.

Vengono calcolati anche il peso del terreno, quello del muro e il sovraccarico laterale con i rispettivi bracci:

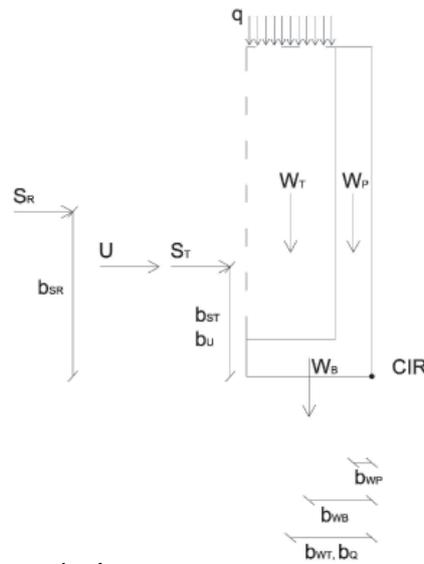
W_B	28,12 kPa	b_{WB}	1,13 m
W_P	50,00 kPa	b_{WP}	0,25 m
W_T	133,00kPa	b_{WT}	1,38 m
Q	2,00 kPa	b_Q	1,38 m

Tab. 16.53. - Peso del terreno, muro e sovraccarico laterale con rispettivi bracci.

Riassumendo le spinte agenti sul muro controterra sono:



Fig. 16.59. - Spinte agenti sul muro controterra per la verifica a traslazione.

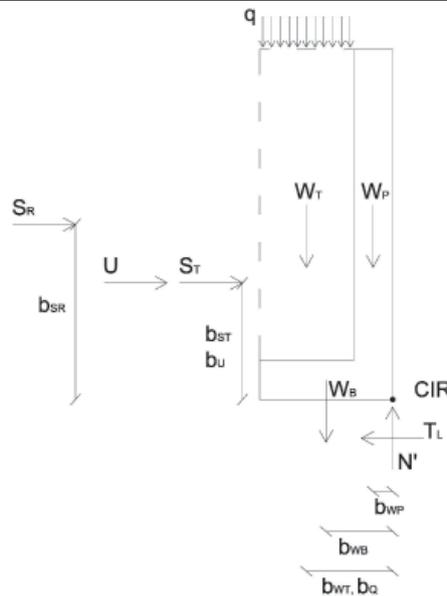


Verifica alla traslazione:

Per la verifica alla traslazione si procede con l'equilibrio di tutte le forze in direzione orizzontale. Nel CIR vengono esplicitate le reazioni vincolari T_L e N' , dove T_L è la sommatoria delle forze verticali moltiplicate per la tangente dell'angolo Φ' più un'eventuale coesione per la lunghezza della base del muro. Il fattore di sicurezza F_{ST} è dato dal rapporto tra le forze stabilizzanti e quelle instabilizzanti.

T_L	154,84 kPa	
F_{ST}	2,06	VERIFICATO

Fig. 16.60. - Sezione scavo per la realizzazione del muro a mensola per la verifica a ribaltamento.



Verifica al ribaltamento:

Come per la verifica a traslazione il calcolo del fattore di sicurezza al ribaltamento è dato dal rapporto tra le forze stabilizzanti e quelle instabilizzanti moltiplicate per i loro rispettivi bracci.

F_{SR}	1,91	VERIFICATO
----------	------	------------



16.8 Aspetti ergonomici

16.8.1. Vincoli per il progetto di cantiere

Vincoli di quartiere

La prima operazione da svolgere è stata quella di conoscere il contesto in cui è collocato l'intervento edilizio e le caratteristiche del progetto rispetto al suo intorno²⁶. L'area di progetto è situata all'angolo tra via Celoria e via Ponzio, facilmente raggiungibile dalla Tangenziale Ovest, uscita Lambrate. Dall'analisi effettuata non si sono rilevati ostacoli per quanto riguarda la viabilità, ad eccezione del sottopassaggio della stazione di Lambrate che presenta un vincolo d'orario per i mezzi pesanti dalla 7.30 alle 21.00. Per questo motivo l'arrivo dei mezzi in cantiere deve essere previsto prima delle ore 7.30 se si proviene da quella zona. L'area d'intervento si trova in prossimità di edifici pubblici sensibili quali università e ospedali a cui bisogna porre attenzione per evitare disagi agli stessi.

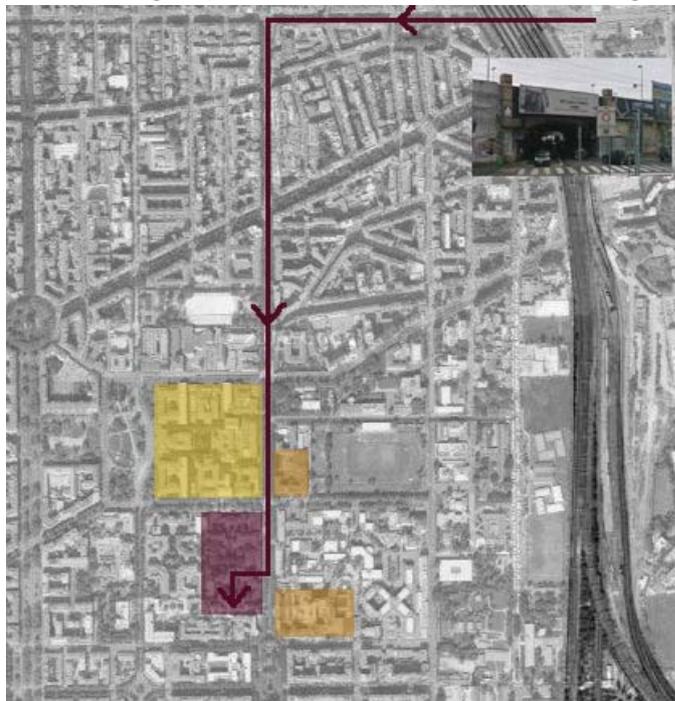


Fig. 16.61. - Vincoli di quartiere.

Cfr. Tav. 107.

Vincoli dell'area di progetto

I vincoli di superficie inamovibile sono tutte quelle limitazioni visibili che potrebbero interferire con la movimentazione interna del cantiere e non devono danneggiarsi per tutta la durata dei lavori.

All'interno del lotto di cantiere sono previsti vincoli di superficie inamovibili costituiti dagli edifici esistenti (vincolati dalla Soprintendenza).

Per quanto riguarda i vincoli di sottosuolo si prevede un'indagine tecnica specifica.

Non sono presenti vincoli aerei quali cavi dell'alta tensione all'interno del lotto ed essendo il terreno pianeggiante non vi è il pericolo di caduta massi dall'alto. Particolare attenzione va posta alla recinzione su via Celoria essendo una strada ad alta frequentazione a ridosso del lotto.

Dovendo attuare degli scavi per la realizzazione delle parti in ipogeo bisogna porre particolare attenzione ai vincoli di sottosuolo e prevedere un'indagine geologica e geotecnica al fine di evidenziare gli aspetti significativi per la progettazione degli scavi.

²⁶ Il riferimento complessivo sull'analisi del contesto è la Normativa specifica "Gestione della sicurezza nei cantieri temporanei e mobili" con indicazioni dei contenuti minimi dei piani di sicurezza per le analisi contenute nell'Allegato XV del D.Lgs. 81/2008.

16.8.2. Indicazioni generali allestimento cantiere

Si presentano alcune linee guida da seguire per l'organizzazione del cantiere in base ai vincoli precedentemente illustrati.

Si riportano per punti le principali indicazioni che saranno alla base della stesura del layout di cantiere.

Recinzioni

Si prevede di utilizzare il muro di confine esistente come limite del cantiere. Su via Celoria verrà aperto un accesso per l'ingresso dei mezzi all'area (larghezza ingresso > 0,7+2,5+0,7 m).

Accessi

La dimensione e il posizionamento è stato predisposto in funzione delle caratteristiche della viabilità esterna e di gestione del cantiere interno. Si prevede l'utilizzo di mezzi separati per mezzi e persone.

Viabilità

La viabilità interna al cantiere è di tipo circolare ed è opportunamente segnalato il senso di marcia, con cartellonistica adeguata. E' prevista un'area di carico/sca-rico, di stoccaggio e di montaggio che non interferiscono con la viabilità interna.

Servizi sanitari/logistici

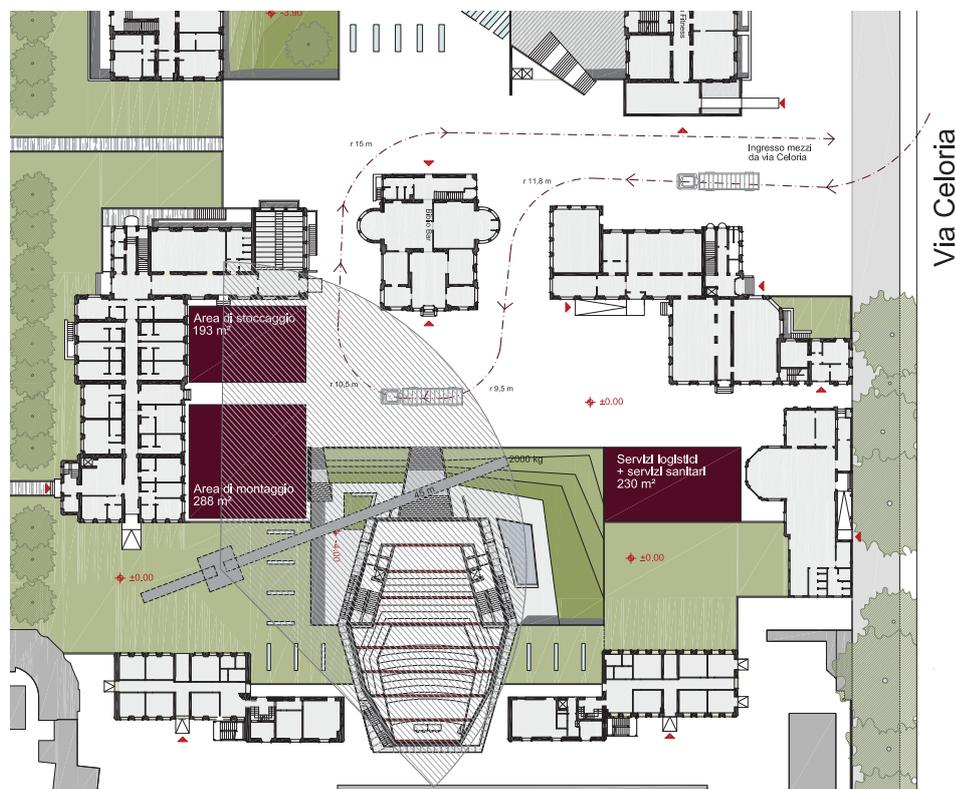
Secondo il D.P.R. 303/56 si è tenuti ad avere presidi sanitari per apprestare le prime cure. I servizi logistici sono locali che servono alle attività di management e servizi alla persona. Sono costituiti da spazi prefabbricati modulari (2,4x4,8 m, h. 2,4 m) ad una altezza dal suolo di 0,5 m. Entrambi devono essere collocati in modo da non subire interferenze rispetto alle lavorazioni e fuori dal raggio d'azione dei macchinari.

Impianti di cantiere

Si prevede il posizionamento dei quadri elettrici e agganci per l'erogazione di acqua opportunamente dimensionati.

Fig. 16.62. - Linee generali per l'allestimento del cantiere.

Cfr. Tav. 107.





16.8.3. Trasporto e montaggio delle travi reticolari

Si voluto analizzare dal punto di vista ergotecnico la fattibilità del trasporto e montaggio delle travi reticolari. A titolo esemplificativo viene riportato il caso studio riguardo la trave reticolare sagomata di copertura HH' precedentemente dimensionata.

Fasi di montaggio travi reticolari

1. L'arrivo in cantiere delle travi reticolari è previsto tramite l'utilizzo di un autoarticolato di lunghezza inferiore a 12 m. Essendo la trave di copertura di lunghezza 21,16 m si è deciso di romperla in tre blocchi (quello maggiore risulta di 9,60 m).

All'arrivo in cantiere è previsto lo stoccaggio in area prestabilita per il successivo montaggio.

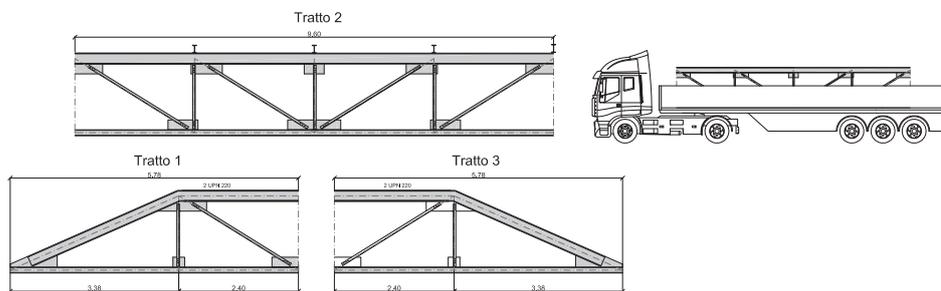


Fig. 16.63. - Fase 1: trasporto e stoccaggio trave reticolare.

Cfr. Tav. 107.

2. La fase due prevede l'assemblaggio dei tre blocchi tramite l'uso di piastre e bulloni. Di seguito viene riportato il calcolo e le verifiche sui bulloni dimensionati.

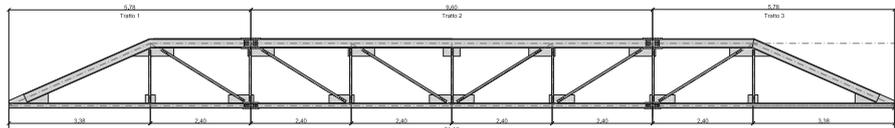


Fig. 16.64. - Fase 2: Montaggio trave reticolare.

Cfr. Tav. 107.

Dimensionamento unione con coprighiunto

Si determina lo sforzo trasmesso dalle ali e dall'anima. Si considera che il momento flettente venga assorbito totalmente dalle ali:

$$M = 5,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 608,7 \text{ kN}$$

L'azione assiale e il momento vengono così ripartiti nelle ali e nell'anima. Lo sforzo agente S risulta:

$$S = M/h = 5,6 / 0,0275 = 27 \text{ kN}$$

$$N_{ali} = [2 \cdot t_f \cdot b \cdot (N_{Ed} + S)] / A_{tot} = 339,95 \text{ kN}$$

$$N_{anima} = N - N_{ali} = 268,75 \text{ kN}$$



- Verifica bulloni:

a) Bulloni delle ali:

I bulloni devono rispettare la seguente limitazione:

$$N_{ali} / (2 \cdot n_{b,ali} \cdot A_{res}) \leq f_{dv}$$

L'area resistente dei bulloni è pari a $A_{res} = 84 \text{ mm}^2$ (bulloni $\Phi 12\text{mm}$).

Il numero di bulloni necessario sull'ala è dato da:

$$n_{b,ali} \geq N_{ali} / (2 \cdot A_{res} \cdot f_{dv}) = 9,54 \rightarrow 10 \text{ bulloni.}$$

b) Bulloni delle anima:

Il numero di bulloni necessario sull'anima è dato da:

$$n_{b,anima} \geq N_{anima} / (2 \cdot A_{res} \cdot f_{dv}) = 7,55 \rightarrow 9 \text{ bulloni.}$$

Al fine di non ridurre eccessivamente l'area resistente del profilo si è scelto di non allineare i fori orizzontali per il coprigiunto dell'anima e quelli dell'ala.

- Verifica coprigiunto:

a) Coprigiunto ali:

Si è scelto di fissare lo spessore dei coprigiunti maggiore rispetto allo spessore dell'ala del profilo. Quindi risulta pari a 15 mm.

b) Coprigiunto anima:

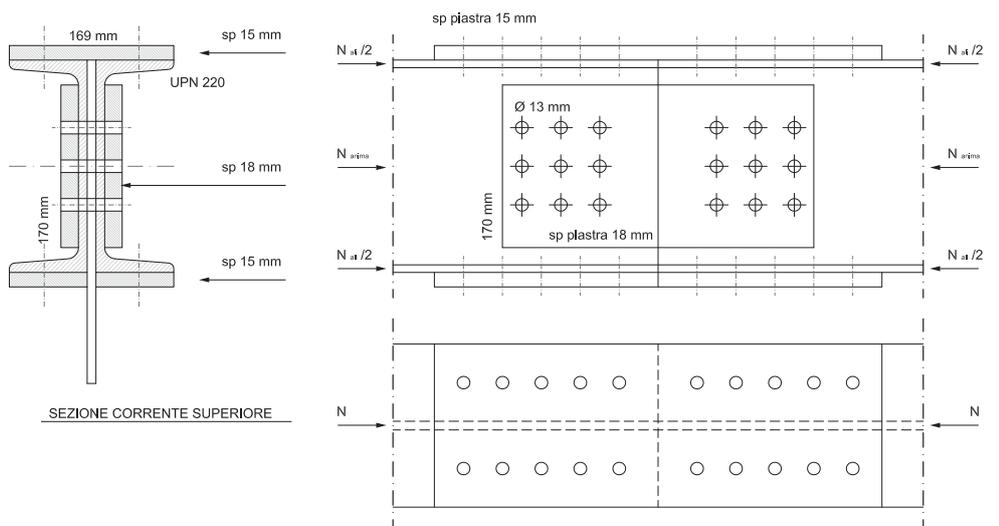
e' necessario fissare lo spessore del coprigiunto dell'anima in modo che siano soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

$$\begin{aligned} A_{(cop)} &\geq A_{(anima)} \\ I_{(cop)} &\geq I_{(anima)} \end{aligned}$$

Considerando un coprigiunto di altezza pari a 170 mm e spessore 18 mm, risulta:

Fig. 16.65. - Sezione, pianta e prospetto coprigiunto. Fuori scala.

Cfr. Tav. 105.



$$\begin{aligned} A_{(cop)} &\geq A_{(anima)} && \rightarrow 1572 \text{ mm}^2 \geq 1062 \text{ mm}^2 \\ I_{(cop)} &\geq I_{(anima)} && \rightarrow 11075262 \text{ mm}^4 \geq 10202763 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Verificato



- *Verifica rifollamento ala:*

Lo sforzo di rifollamento risulta:

$$\sigma_{rif} = N_{ali} / (2 \cdot n_b \cdot d \cdot t) = 113,32 \text{ N/mm}^2$$

Verifica:

$$\sigma_{rif} \leq \alpha \cdot f_{yd} \rightarrow 113,32 \text{ N/mm}^2 \leq 491 \text{ N/mm}^2$$

Verificato

- *Verifica rifollamento anima:*

Lo sforzo di rifollamento risulta:

$$\sigma_{rif} = N_{anima} / (2 \cdot n_b \cdot d \cdot t) = 138,25 \text{ N/mm}^2$$

Verifica:

$$\sigma_{rif} \leq \alpha \cdot f_{yd} \rightarrow 138,25 \text{ N/mm}^2 \leq 491 \text{ N/mm}^2$$

Verificato

- *Verifica a resistenza sezione:*

$$A_{netta} = A_{tot} - A_{fori} = 6830 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = N / A_{netta} = 89,12 \text{ N/mm}^2$$

Verifica:

$$\sigma \leq f_{yd} \rightarrow 89,12 \text{ N/mm}^2 \leq 261,9 \text{ N/mm}^2$$

Verificato

3. Una volta assemblata la trave alla quota del piano di campagna, si prevede il sollevamento in quota tramite l'utilizzo di una gru provvista di bilancino. Verrà ancorata ad una distanza di L/4 dall'estremità della trave.

La gru è stata scelta tenendo conto del carico massimo in punta che risulta pari a 2000 kg. La trave più pesante è di 1256 kg.

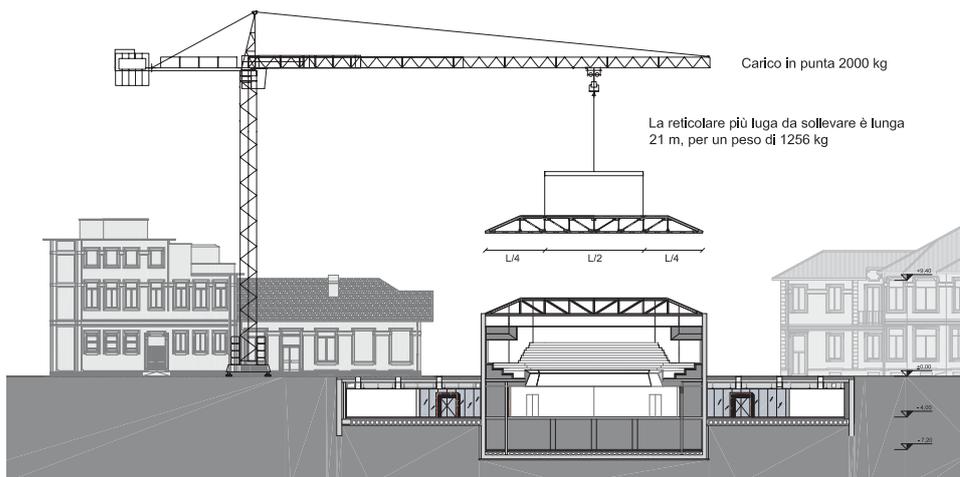


Fig. 16.66. - Fase 3: sollevamento e posa in quota della trave reticolare. Fuori scala.

Cfr. Tav. 107.

16.8.4. Tesatura cavi post-tensione

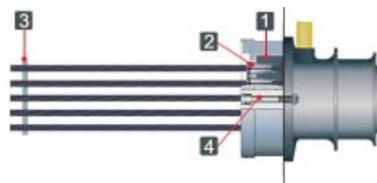
Dal punto di vista ergonomico viene indicato il procedimento da effettuare per la messa in tensione del caso di post-tensione del setto precedentemente dimensionato.

Si è scelto di posizionare l'ancoraggio fisso nella zona meno accessibile, mentre un ancoraggio a tendere nella zona a sbalzo, che risulta priva di ostacoli per il funzionamento dei martinetti di tiraggio.

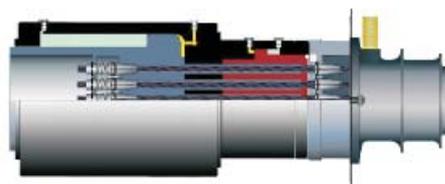
La tesatura è da effettuarsi nel seguente ordine:

Fig. 16.67. - Sequenza fasi di tesatura dei cavi post-tesi.

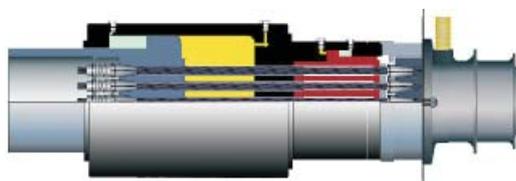
A) montaggio della testa di ancoraggio, dei cunei e del pettine sui trefoli;



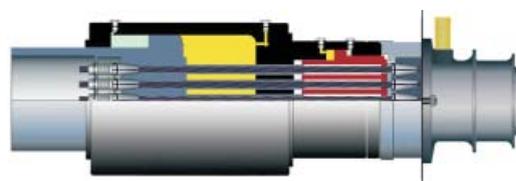
B) infilaggio dei martinetti sui trefoli;



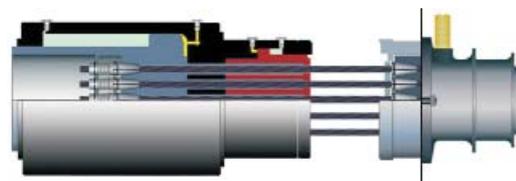
C) messa in tensione del cavo fino a raggiungere la tensione prescritta;

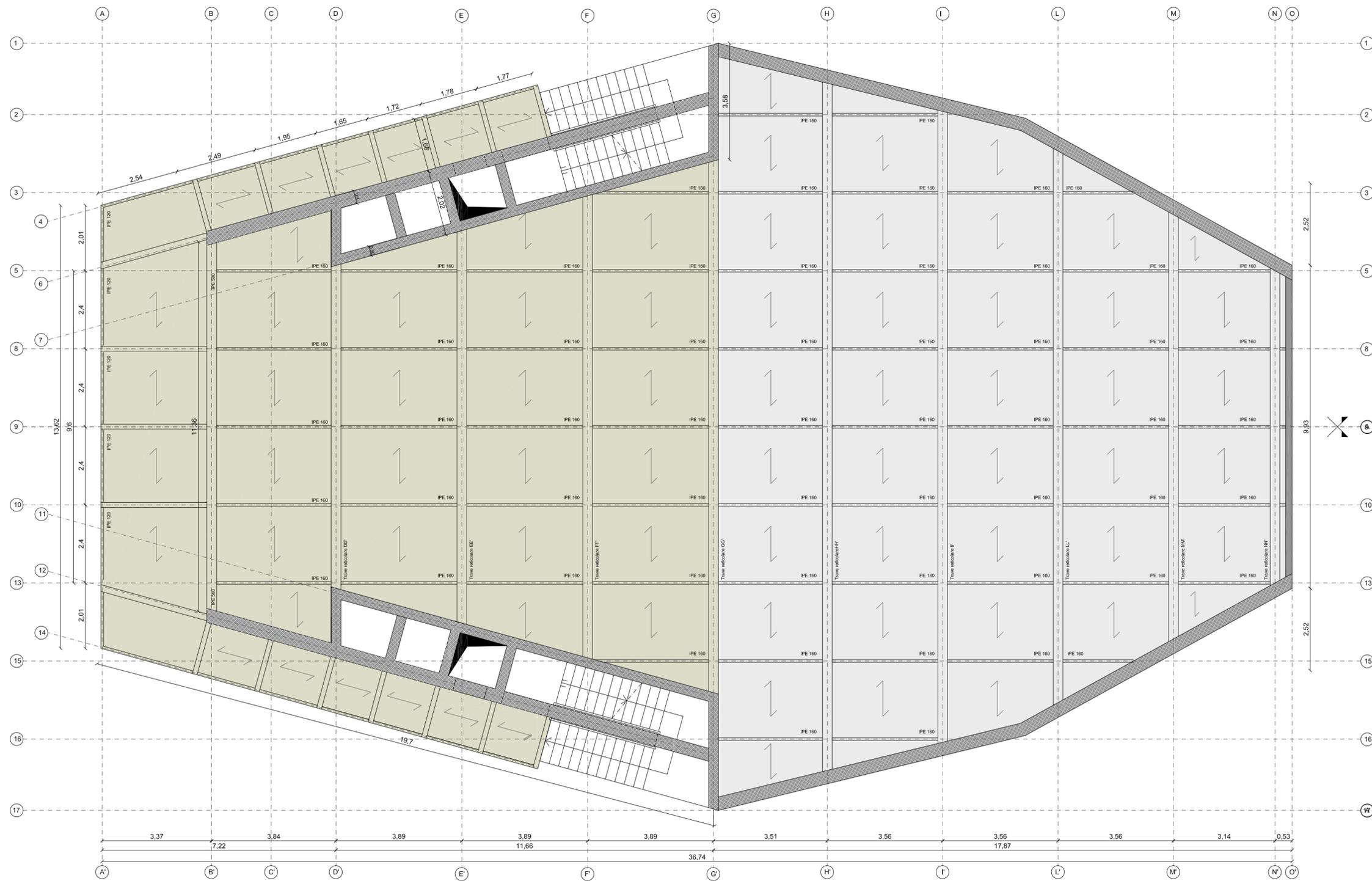


D) bloccaggio dei cunei nella testa di ancoraggio;

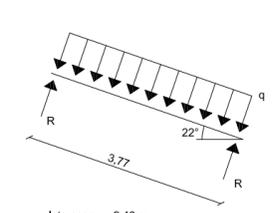


E) rientro dei pistoni di tiro e di bloccaggio e riposizionamento del martinetto contro la base per effettuare le ulteriori riprese di tiro.





Trave secondaria HI-8



Interasse: 2,40 m
Luce: 3,77 m

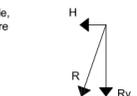
Carichi combinazione SLE Rara:
 $q_{sle} = 3,09 \text{ kN/m}^2$ $q_{sle} = 7,41 \text{ kN/m}$

Carichi combinazione SLU Fondamentale:
 $q_{sle} = 4,61 \text{ kN/m}^2$ $q_{sle} = 11,06 \text{ kN/m}$

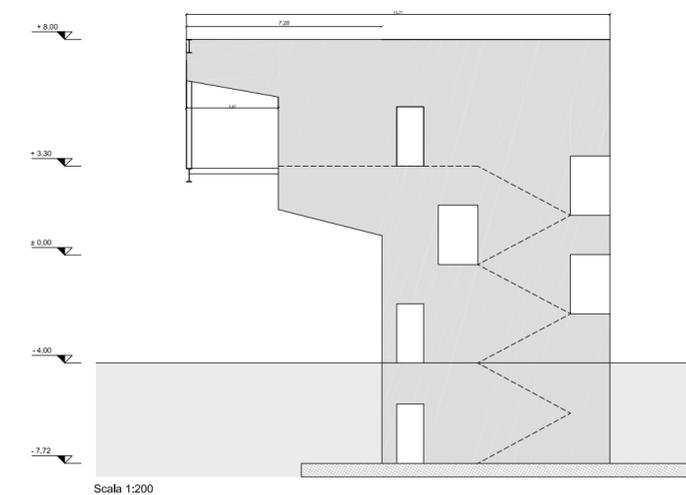
$I = 492,39 \text{ cm}^4$ → IPE 160 $I = 869,00 \text{ cm}^4$

Essendo la trave inclinata di 22° rispetto all'orizzontale, la reazione vincolare che trasmette alla trave reticolare sarà scomposta nelle due direzioni:

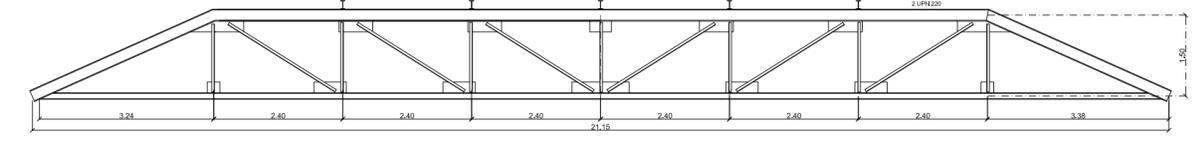
$R_v = 19,66 \text{ kN}$
 $H = 7,82 \text{ kN}$



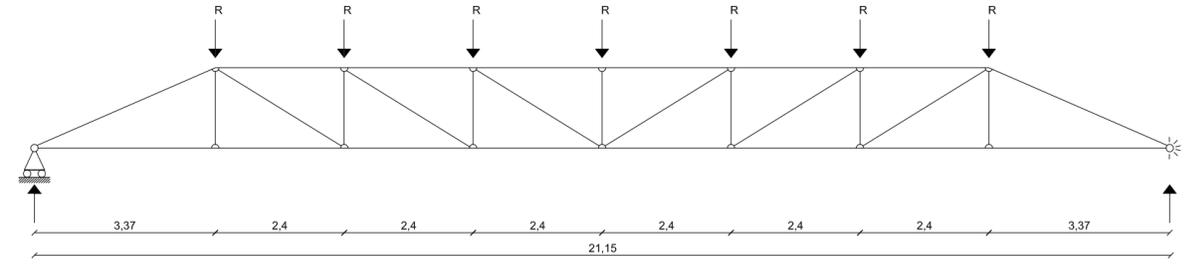
Prospetto BB' setto vano scale



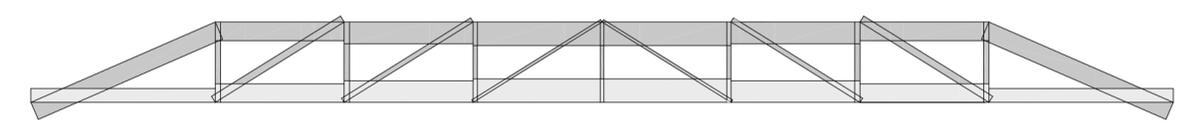
Trave reticolare HH'



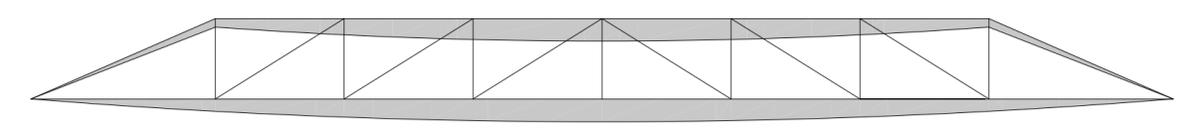
Trave reticolare HH': modello statico

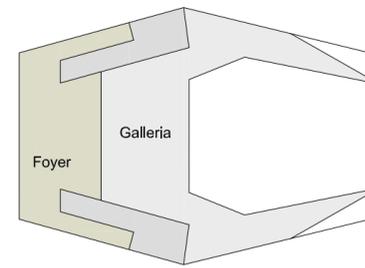
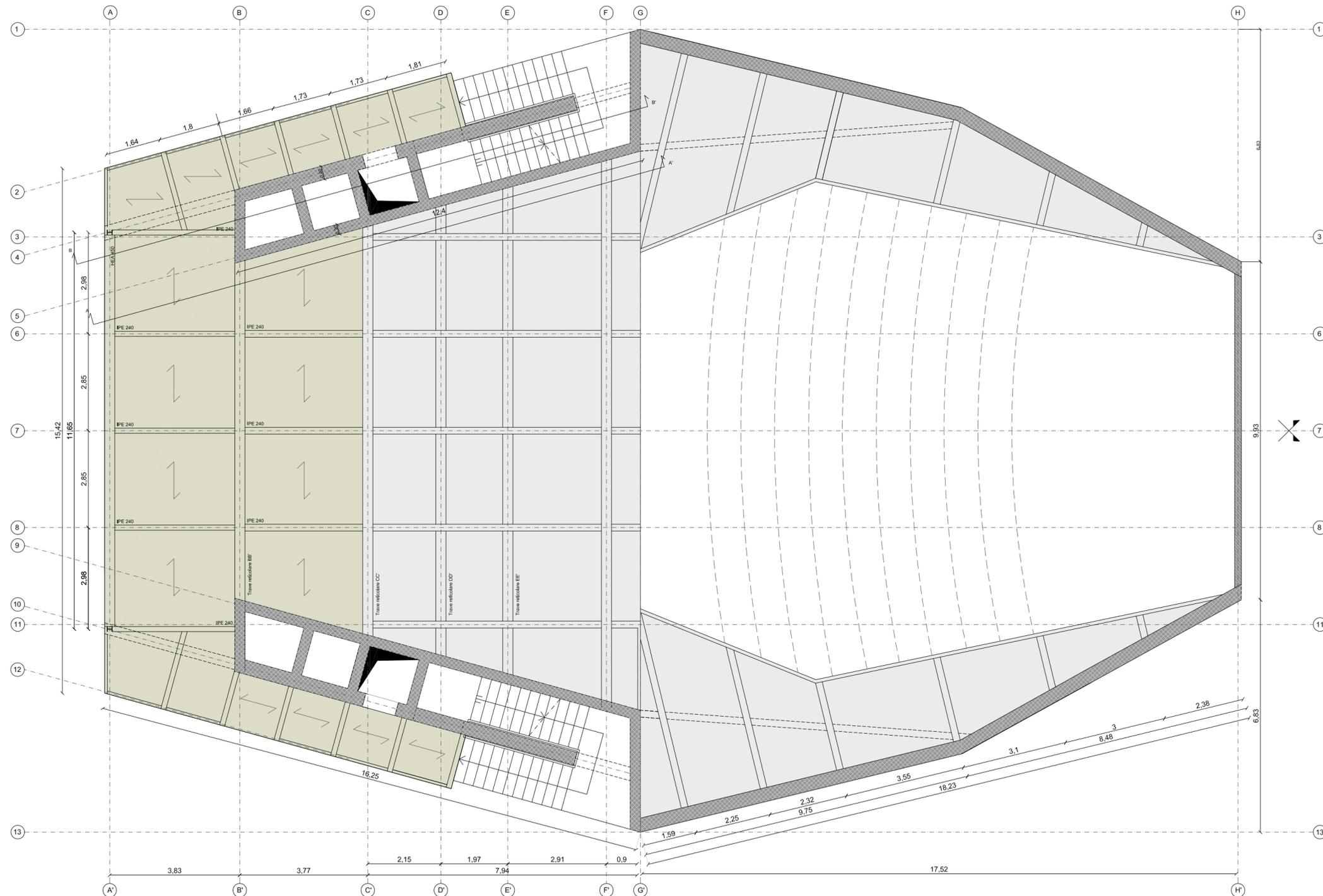


Trave reticolare HH': azione assiale N

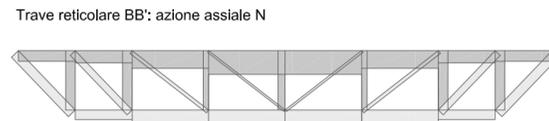
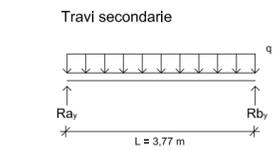
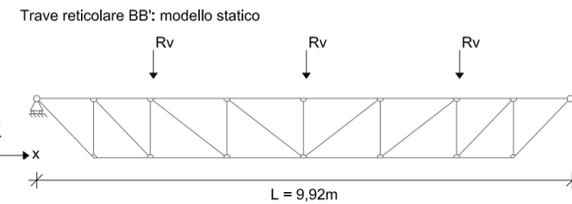
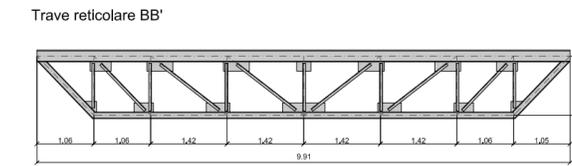


Trave reticolare HH': momento flettente M

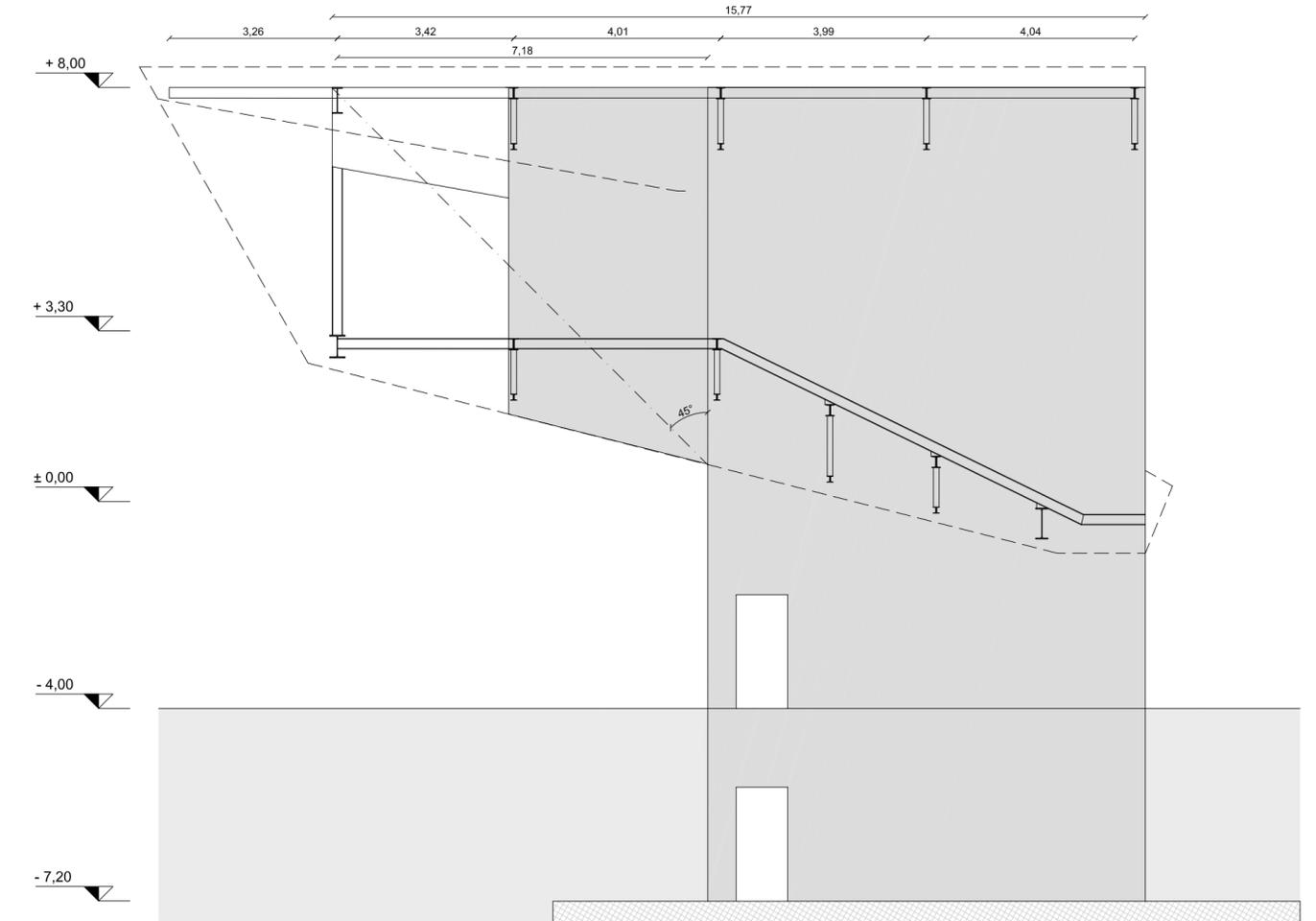


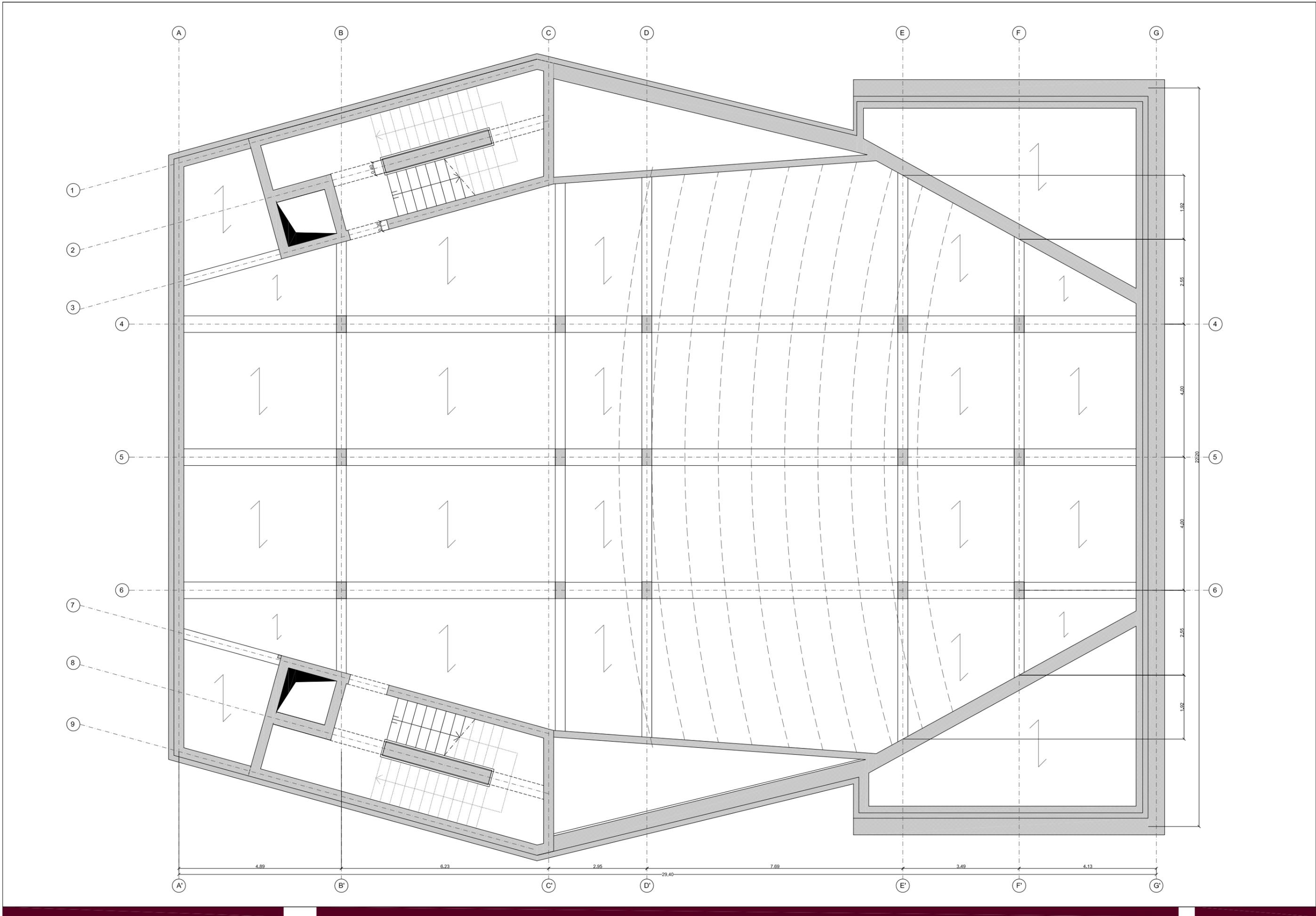


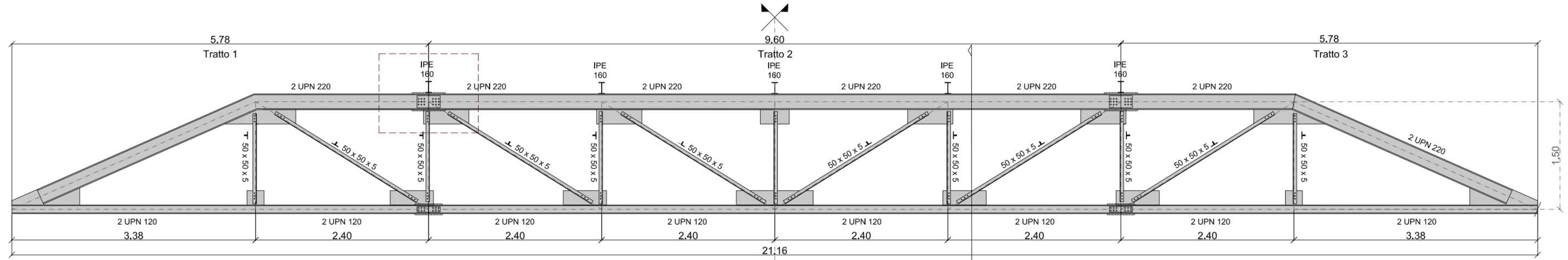
Layout funzionale



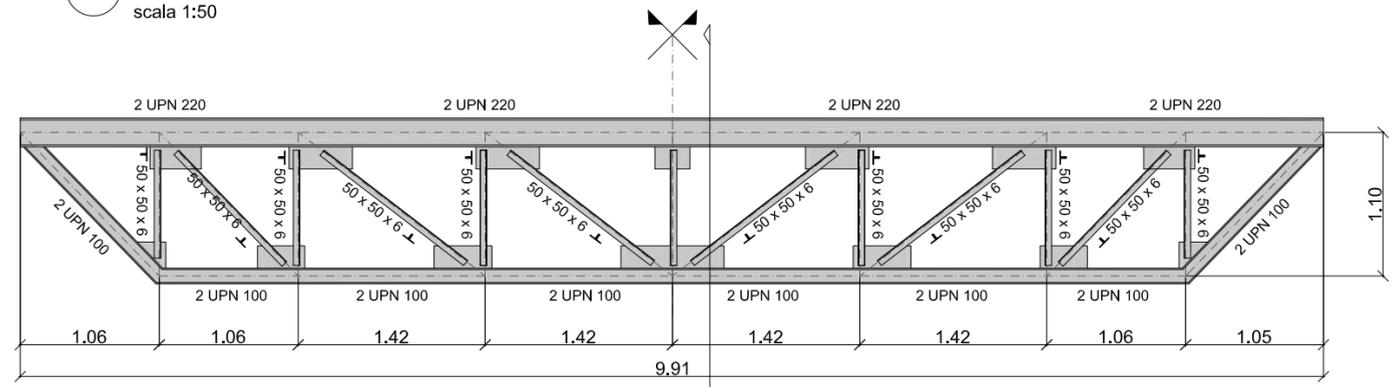
Prospetto AA' setto vano scale



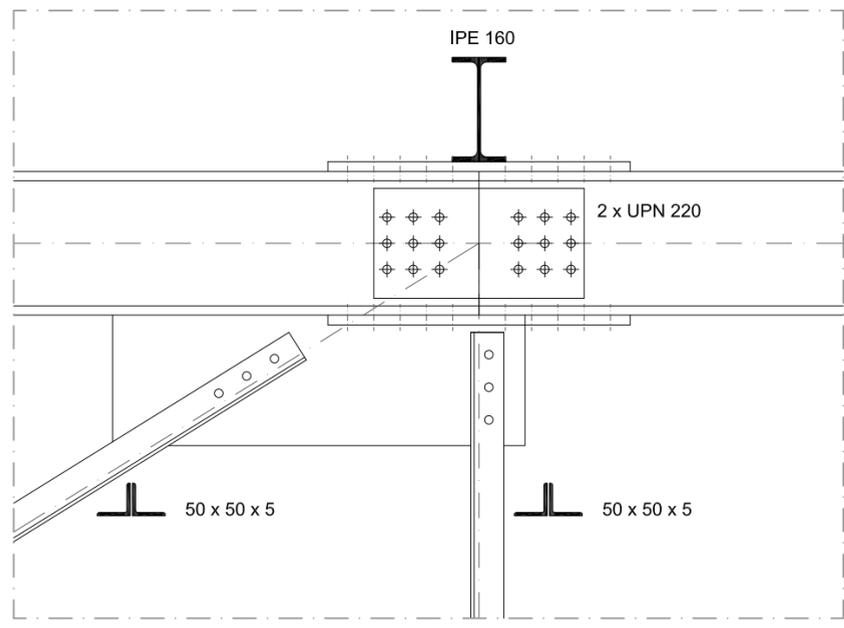




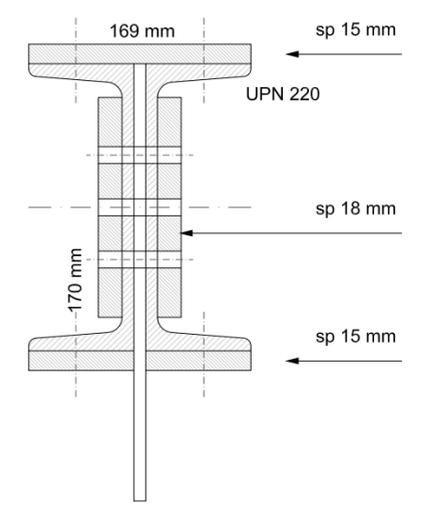
1 RETICOLARE COPERTURA HH'
scala 1:50



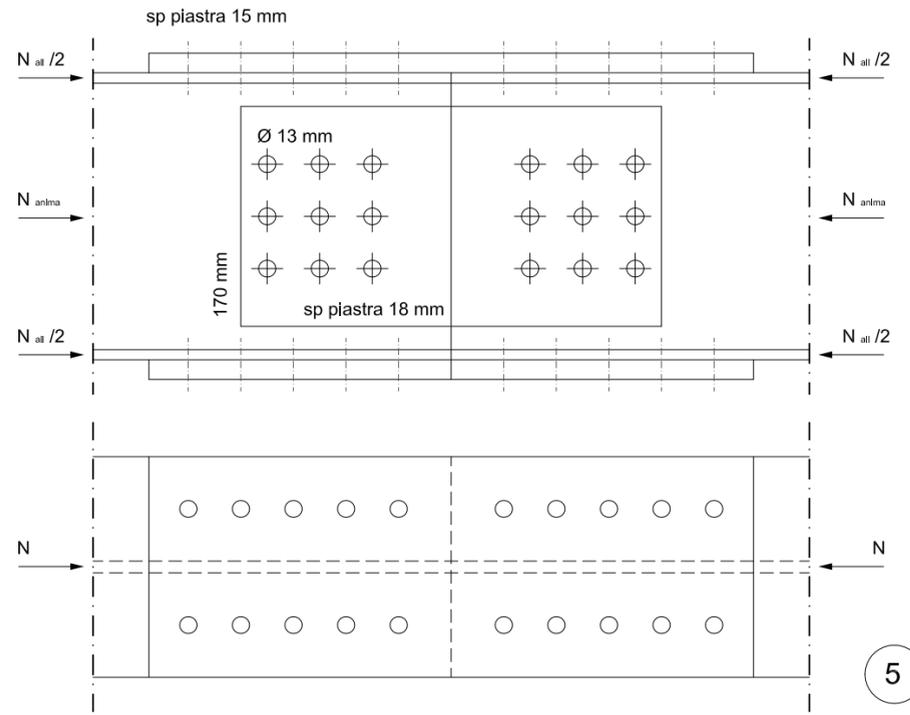
2 RETICOLARE INTERPIANO BB'
scala 1:50



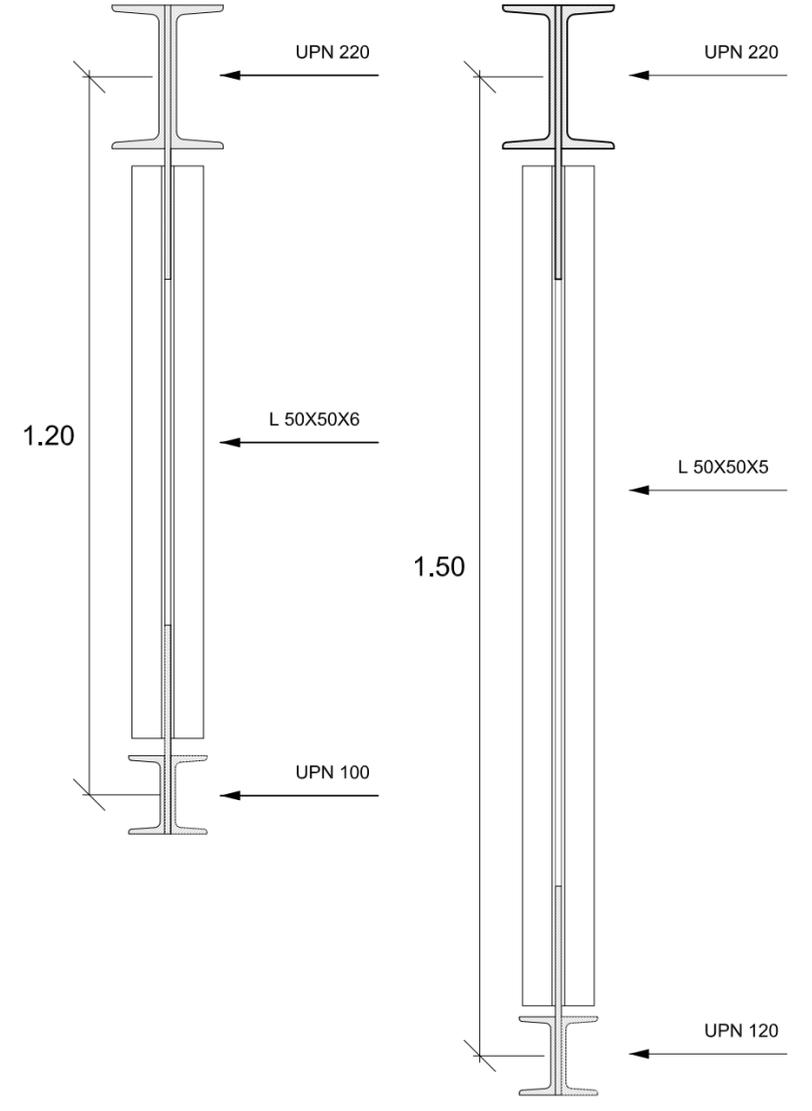
3 NODO RETICOLARE
scala 1:10



4 SEZIONE CORRENTE SUPERIORE
scala 1:5

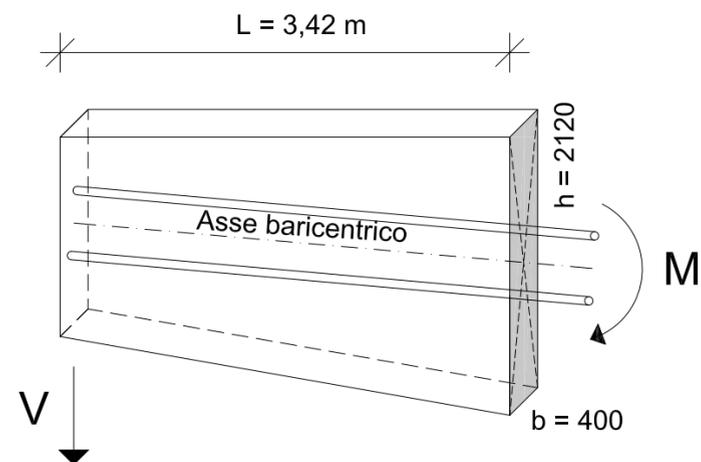


5 SEZIONE VERTICALE BB'
scala 1:10

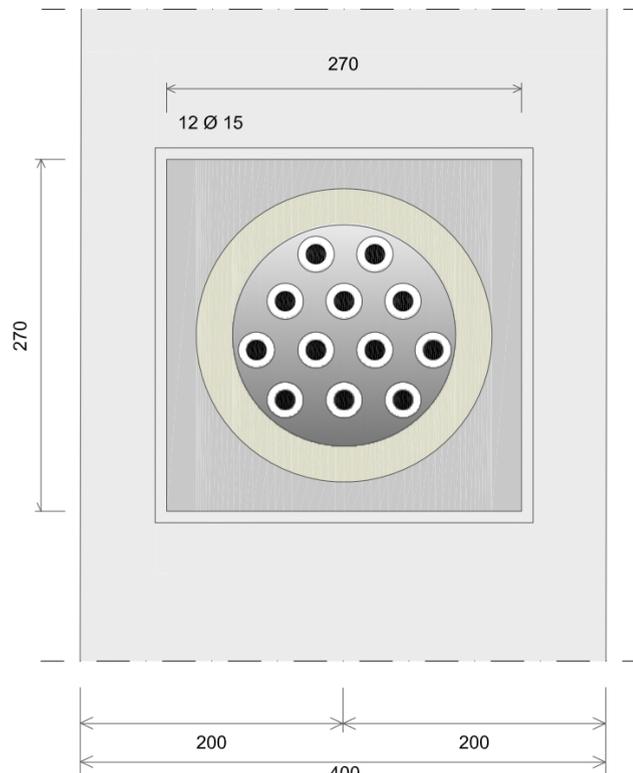
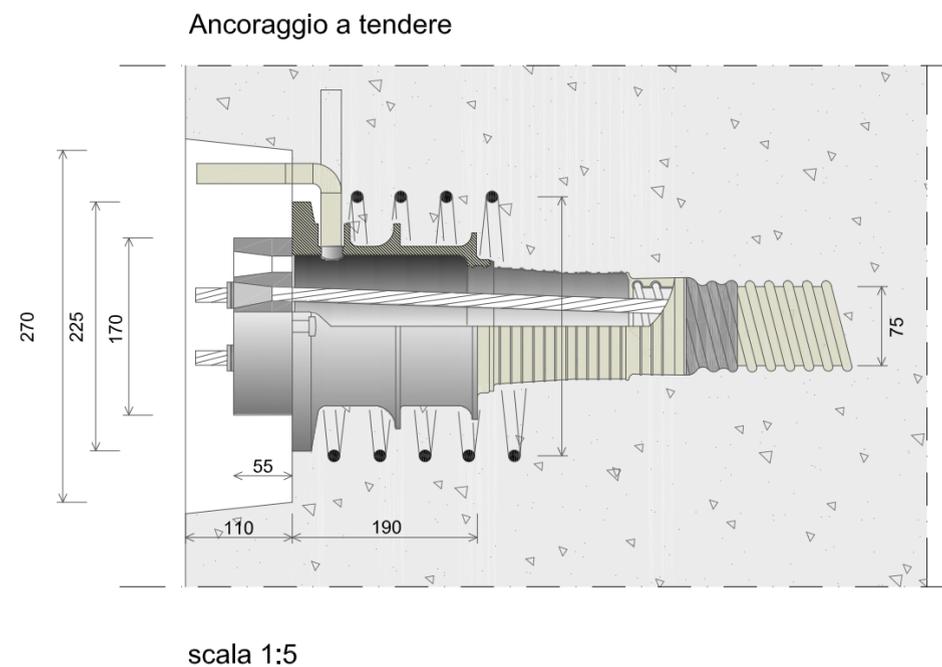
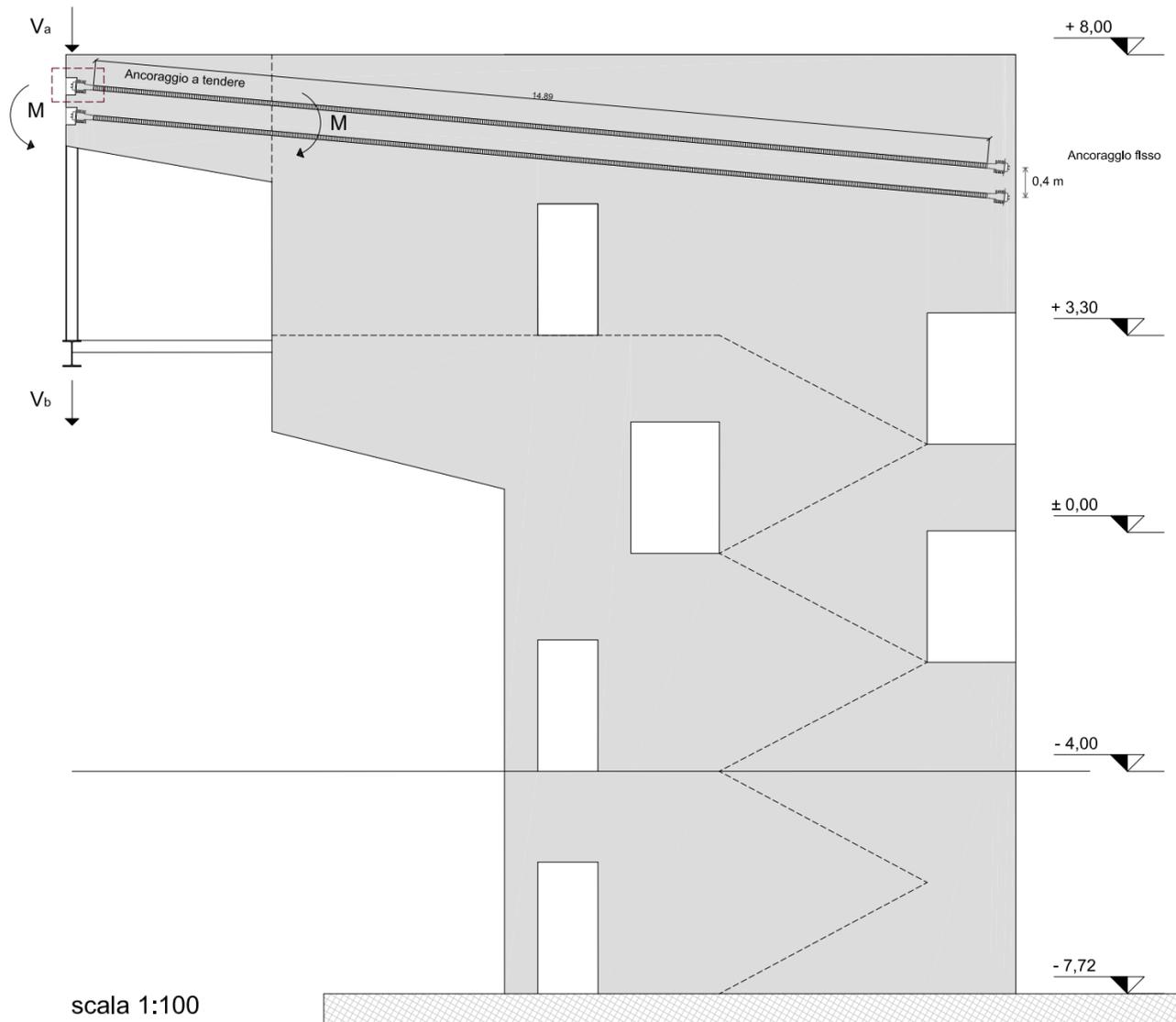
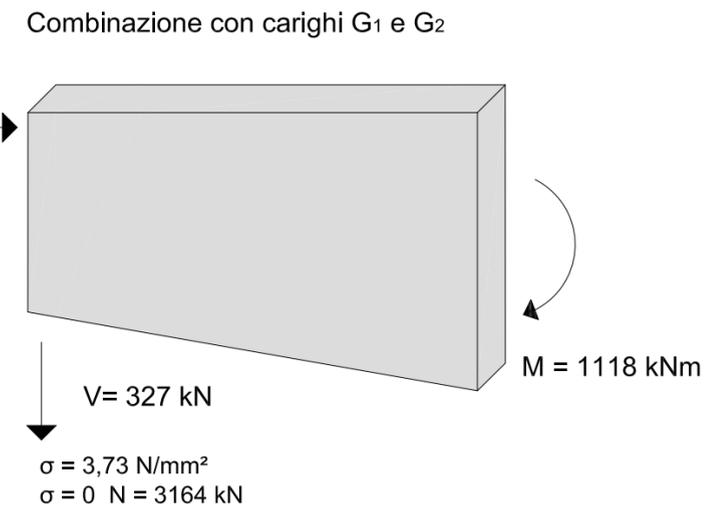
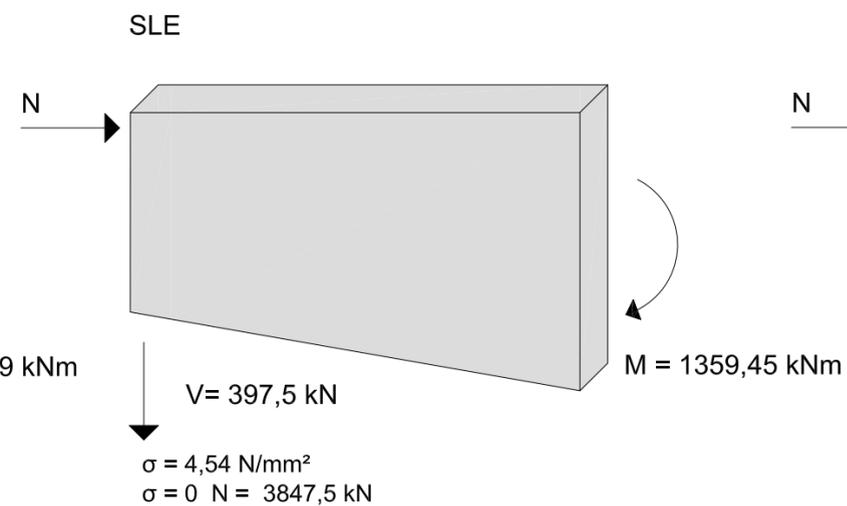
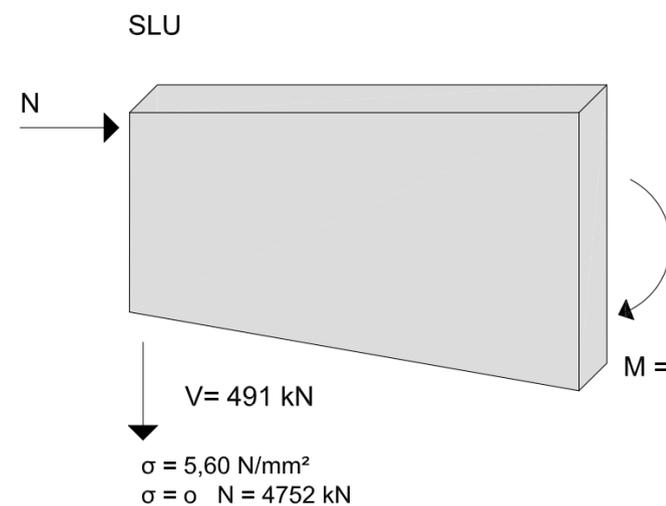


6 SEZIONE VERTICALE AA'
scala 1:10

Combinazioni di carico per il predimensionamento del setto in c.a.p.



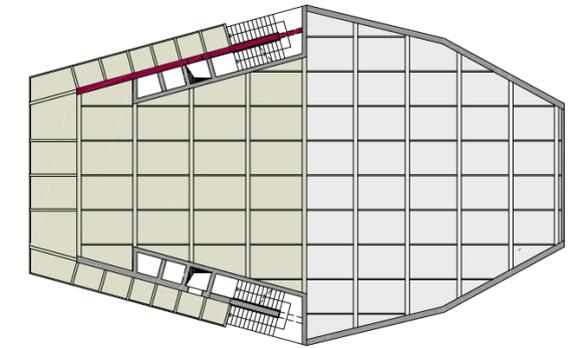
I due cavi di post-compressione sono equidistanti dall'asse baricentrico

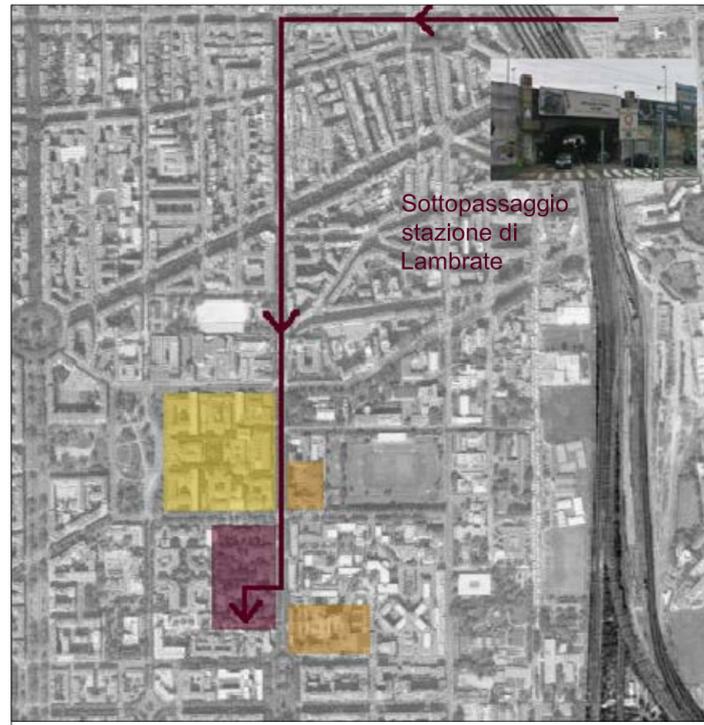


Per determinare la sezione dei cavi e dell'ancoraggio è stata utilizzata una tensione media pari a $N=3921$ kN

Tesatura

- Montaggio della testa di ancoraggio, dei cuinei e del pettine,
- Infilaggio del martinetto sui trefoli,
- Messa in tensione del cavo fino a raggiungere la tensione prescelta,
- Bloccaggio dei cuinei nella testa di ancoraggio,
- Rientro dei pistoni di tiro e di bloccaggio, riposizionamento del martinetto contro la base per effettuare eventuali riprese di tiro.





Sottopassaggio
stazione di
Lambrate

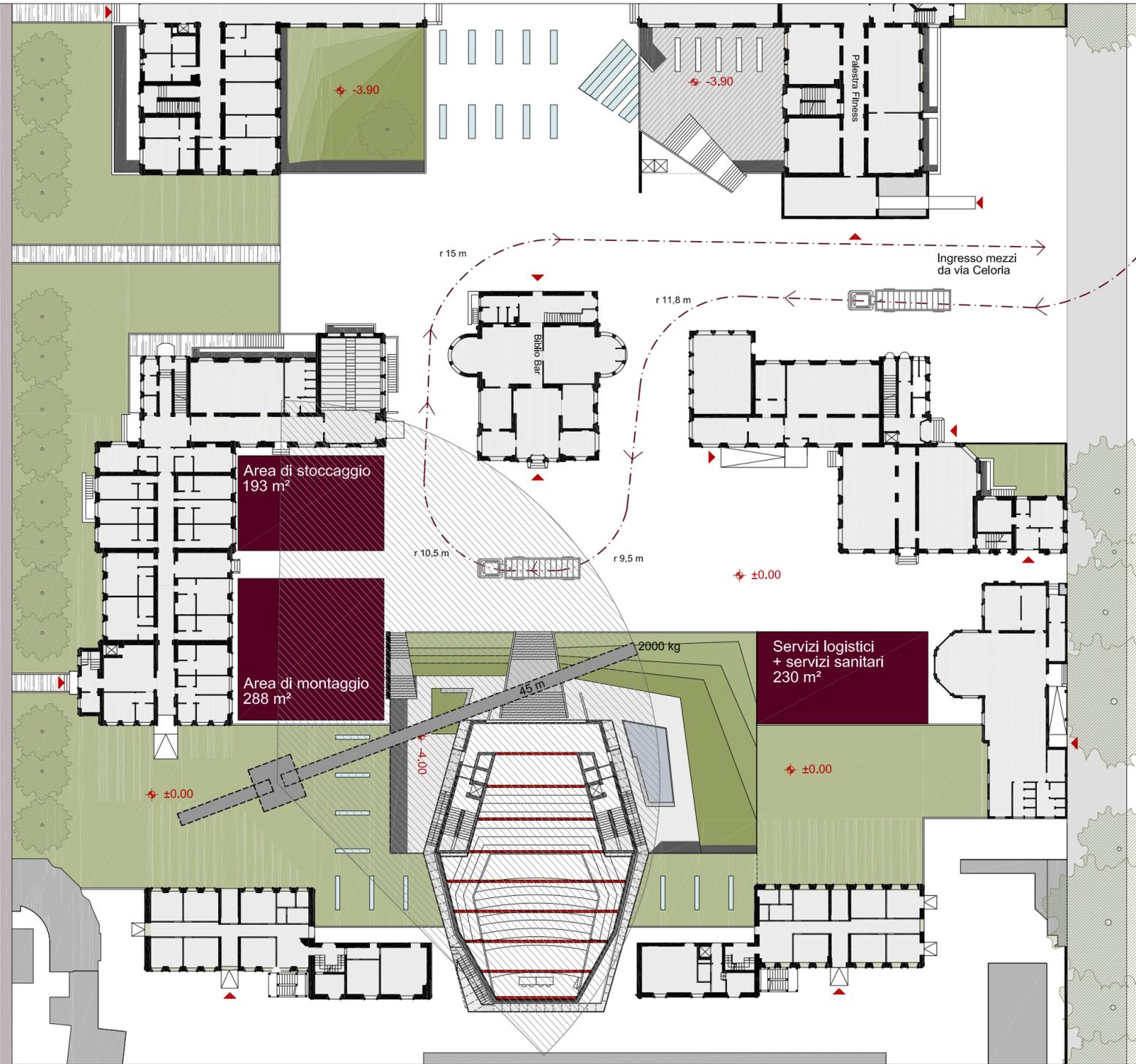
Planimetria vincoli

- Area di progetto
- Politecnico di Milano
- Aree ospedaliere

L'arrivo dei mezzi all'area di cantiere è previsto sull'ingresso di via Celoria proveniente dall'uscita della tangenziale (Lambrate). Il vincolo più rilevante risulta il sottopasso della stazione di Lambrate, non per l'altezza, bensì per una limitazione di orario dalle 7:30 alle 21:00. Per questo motivo l'arrivo in cantiere dei mezzi dovrà essere previsto prima delle ore 7:30.

Indicazioni generali allestimento cantiere

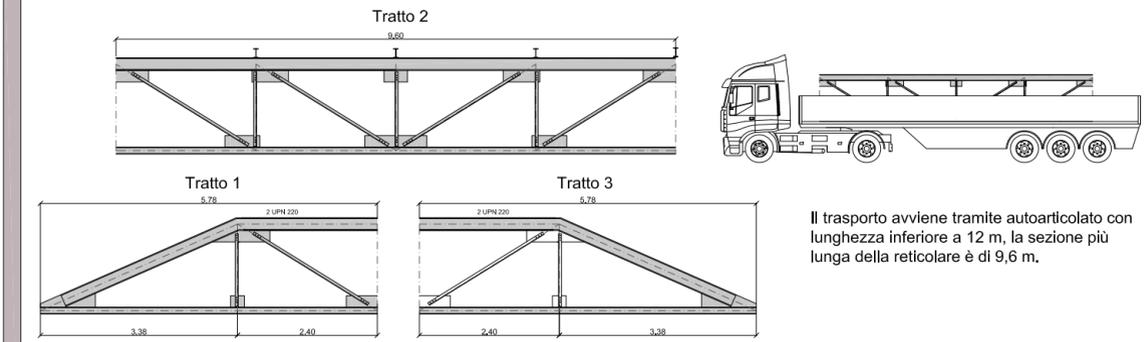
- Recinzioni: Si prevede di utilizzare il muro di confine esistente come limite del cantiere. Su via Celoria verrà aperto un accesso per l'ingresso dei mezzi all'area (larghezza ingresso > 0,7 + 2,5 + 0,7 m).
- Accessi: La dimensione e il posizionamento è stato predisposto in funzione delle caratteristiche della viabilità esterna e di gestione del cantiere interno. Si prevede l'utilizzo di accessi separati per mezzi e persone.
- Viabilità: La viabilità interna al cantiere è di tipo circolare ed è opportunamente segnalato il senso di marcia, con cartellonistica adeguata. E' prevista un'area di carico scarico, di stoccaggio e di montaggio che non interferiscono con la viabilità interna.
- Servizi sanitari/logistici: Secondo il D.P.R. 303/56 si è tenuti ad avere presidi sanitari per apprestare le prime cure. I servizi logistici sono locali che servono alle attività di management e servizi alla persona. Sono costituiti da spaziali prefabbricati modulari (2,4x4,8 h 2,4 m) ad un'altezza dal suolo di 0,5 m. Entrambi devono essere collocati in modo da non subire interferenze rispetto alle lavorazioni e fuori dal raggio d'azione dei macchinari.
- Impianti di cantiere: Si prevede il posizionamento dei quadri elettrici e agganci per l'erogazione di acqua opportunamente dimensionati.



Pianta piani terra 1:500

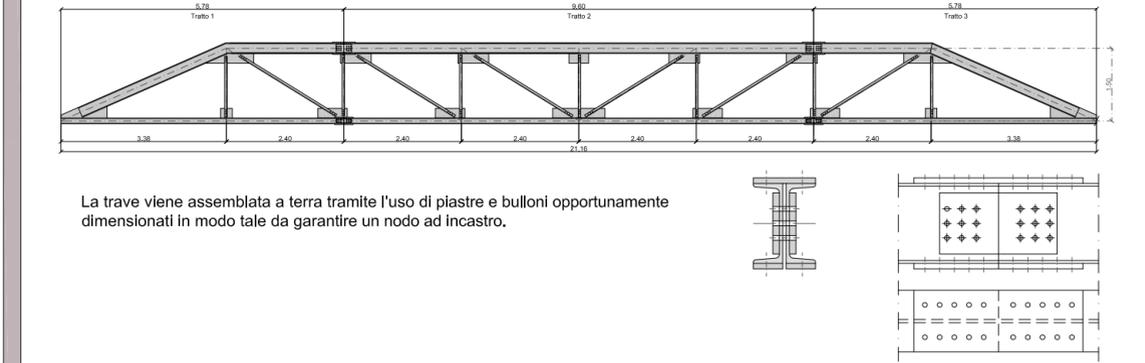
Fasi di montaggio travi reticolari

Fase 1: Arrivo in cantiere di 3 blocchi preassemblati - stoccaggio a terra



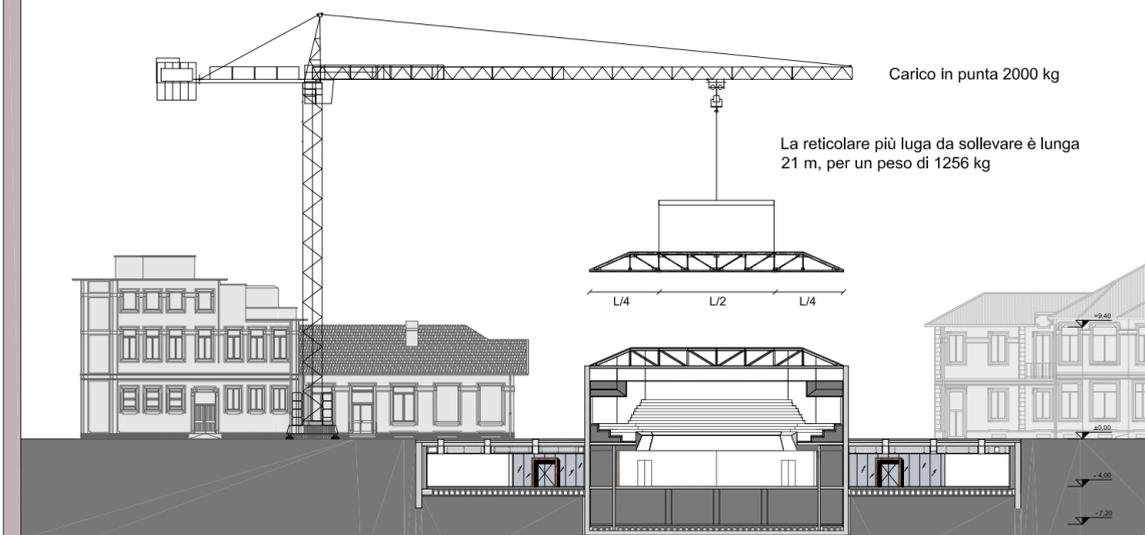
Il trasporto avviene tramite autoarticolato con lunghezza inferiore a 12 m, la sezione più lunga della reticolare è di 9,6 m.

Fase 2: Assemblaggio a terra dei tre blocchi



La trave viene assemblata a terra tramite l'uso di piastre e bulloni opportunamente dimensionati in modo tale da garantire un nodo ad incastro.

Fase 3: Sollevamento e posa delle reticolari



Carico in punta 2000 kg

La reticolare più lunga da sollevare è lunga 21 m, per un peso di 1256 kg

Il progetto Impiantistico



17 Strategie generali di progetto

17.1 Condizioni di comfort

Per garantire il comfort ai fruitori dell'auditorium bisogna controllare dei parametri fondamentali come:

- le condizioni termiche quali la temperatura dell'aria e delle superfici;
- le condizioni igrometriche, attraverso il controllo dell'umidità relativa;
- infine il controllo della qualità e velocità dell'aria.

L'intervento mira a minimizzare i carichi, massimizzare le prestazioni dei componenti impiantistici, utilizzando componenti ad alto rendimento, come recuperatori termici e l'utilizzo di energie rinnovabili. La proposta progettuale vuole perseguire l'efficienza e l'affidabilità delle soluzioni, con particolare attenzione ai concetti di razionalizzazione dell'uso di fonti energetiche tradizionali, della semplicità di gestione e manutenzione, del ricorso, ove possibile a fonti rinnovabili.

17.2 Fabbisogni energetici – climatizzazione invernale

Per determinare i fabbisogni energetici si sono utilizzate le seguenti condizioni termoigrometriche interne:

	Inverno	Estate	Umidità relativa
Sala	20°C	26°C	50%
Foyer	18°C	26°C	50%
Vani scale	18°C	26°C	50%
Bar	20°C	26°C	50%
Sala espositiva	20°C	26°C	50%

Tab. 17.1. - Temperature di progetto.

Condizioni termoigrometriche esterne:

- Inverno temperatura 20°C umidità relativa 80%
- Estate temperatura 26°C umidità relativa 50 %

Per determinare il fabbisogno energetico sono state calcolate le perdite per ventilazione e per dispersione dell'edificio:

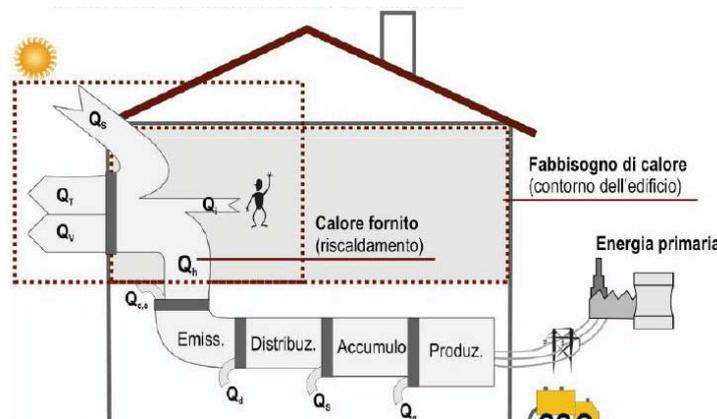


Fig. 17.1. - Schema del bilancio energetico di un edificio.



Portate di ventilazione:

La normativa UNI 10339 definisce la portata di aria di Progetto Q_0 per la ventilazione dei locali in :

- m^3 /secondo per m^2 di superficie del locale Q_{os} (cucine)

$$Q_0 = Q_{os} * S$$

- Volumi/ora (bagni)

$$Q_0 = \text{volumi/ora} * V / 3600$$

- m^3 /secondo per ogni occupante Q_{op} (altri locali)

$$Q_0 = Q_{op} * n$$

n = numero degli occupanti

S_u = Superficie utile del locale

V = volume del locale

Se non è noto il numero di occupanti del locale si ricorre all'indice di affollamento n_s (persone/ m^2). In questo caso la portata di ventilazione è data da:

$$Q_0 = Q_{op} * n_s * S_u$$

Definita la portata di aria in ogni locale è possibile definire la sezione dei condotti ipotizzando una velocità media di 5 m/s per le canalizzazioni principali, per le canalizzazioni secondarie invece 1 m/s per non creare fastidi ai fruitori dell'auditorium a causa del rumore dell'aria.

Dispersioni per trasmissione:

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

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

Il parametro che caratterizza la trasmissione del calore per conduzione di un materiale è la conduttività λ [W/m*K]. Il parametro che calcoleremo per caratterizzare un dato elemento opaco e/o trasparente che trasmette calore è la trasmittanza U [W/m²*K]. La trasmittanza U si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1 °C, ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati:

$$U = 1/R_t$$

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

$$R = d/\lambda$$



Per ogni componente opaco e trasparente è stato calcolato il valore di trasmittanza utilizzando la seguente formula:

$$U = \frac{1}{(1/\alpha_i) + (d_1/\lambda_1) + (d_2/\lambda_2) + \dots + (d_n/\lambda_n) + (1/C) + (1/\alpha_e)}$$

- d = spessore dell'elemento espresso in m
- λ = conduttività del materiale in [W/m K]
- C = conduttanza dell'intercapedine d'aria
- α_i = coefficiente di adduzione interno
- α_e = coefficiente di adduzione esterno

Nella tabella seguente si riportano i valori delle trasmittanze di di tutti i pacchetti adottati:

	Codice	Trasmittanza di progetto	Trasmittanza secondo normativa ¹
Chiusure verticali	CV_01p	U=0,23 W/m ² K	U=0,34 W/m ² K
	CV_02p	U=0,14 W/m ² K	
	CV_03p	U=0,15 W/m ² K	
	CV_04p	U=0,16 W/m ² K	
	CV_05p	U=1,20 W/m ² K	
	CV_06p	U=0,16 W/m ² K	
	CV_07p	U=0,14 W/m ² K	
	CV_08p	U=0,14 W/m ² K	
Chiusure orizzontali	CO_01p	U=0,26 W/m ² K	U=0,33 W/m ² K
	CO_02p	U=0,11 W/m ² K	
	CO_03p	U=0,16 W/m ² K	
Partizione orizzontale interna	POI_02p	U=0,25 W/m ² K	U=0,30 W/m ² K

Tab. 17.2. - Riepilogo trasmittanze di progetto.

17.2.1. Predimensionamento sistema UTA

Di seguito si riporta i calcoli relativi ai fabbisogni termici invernali delle perdite per ventilazione e trasmissione e le potenze termiche delle tre UTA.

¹ Trasmittanza massima secondo Dlsg 311



Tab. 17.3. -
Dispersioni per
ventilazione.

Temperatura esterna di progetto	-5 °C
Temperatura interna di progetto	20 °C

DISPERSIONI PER VENTILAZIONE

TIPO ELEMENTO	LOCALE	RICAMBI ORA [n]	VOLUME [mc]	Csv [Wh/mck]	Δ T [K]	DISPERSIONI Q [W]	PORTATA VOLUMICA [mc/h]
Auditorium	Sala	5	3.023,8	0,35	25	132.293,0	15.119,2
	Foyer/scale	3	1.839,8	0,35	25	48.295,0	5.519,4
	Bagni comuni	10	181,9	0,35	25	15.911,9	1.818,5
Dispersione totale per ventilazione						196.499,9	22.457,1

TIPO ELEMENTO	LOCALE	RICAMBI ORA [n]	VOLUME [mc]	Csv [Wh/mck]	Δ T [K]	DISPERSIONI Q [W]	PORTATA VOLUMICA [mc/h]
Bar	Piano -4m	5	402,5	0,35	25	17.609,4	2.012,5
Bagni comuni	Piano -4 m	10	77,5	0,35	25	6.781,3	775,0
Sala espositiva	Piano -4 m	5	989,2	0,35	25	43.276,2	4.945,9
Dispersione totale						67.666,8	7.733,4

Dispersione totale per ventilazione		264.166,7
Recuperatore di calore 50%		132083,35
Portata volumica totale		30190,5



Tab. 17.4. -
Dispersioni per
trasmissione.

DISPERSIONI VERTICALI E ORIZZONTALI

Temperatura terreno	5 °C
Temperatura esterna di progetto	-5 °C
Temperatura interna di progetto	20 °C

AUDITORIUM	CODICE ELEMENTO	TIPO ELEMENTO	AREA [mq]	U [W/m² K]	Δ T [K]	DISPERSIONE Q [W]				
Sala interna	CV_02p	Muro controterra palco	288,8	0,14	20	808,64				
	CV_04p	Parete laterale	255,73	0,16	25	1.022,92				
	CO_01p	Solaio controterra	367,00	0,26	20	1.908,40				
Foyer/Vano scale	CO_02p	Copertura	500,00	0,11	25	1.375,00				
	CV_01p	Parete esterna Foyer	181,60	0,23	23	960,66				
	CV_05p	Vetrata	336,82	1,21	23	9.373,70				
	POI_02p	Solaio interpiano	54,77	0,25	23	314,93				
	CO_02p	Copertura	258,00	0,11	23	652,74				
Bar/Esposizione	CV_07p	Muro controterra bar/expo	270,96	0,14	20	758,69				
	CV_05p	Vetrata	96,26	1,21	25	2.911,87				
	CO_03p	Tetto giardino	413,12	0,16	25	1.652,48				
CO_01p						Solaio controterra	413,12	0,26	20	2.148,22
Totale dispersioni verticali e orizzontali										23.888,25

Tab. 17.5. -
Predimensionamento
condotti UTA.

UTA 1											
TIPO ELEMENTO	LOCALE	RICAMBI ORA [h]	VOLUME [mc]	Csv [Wh/mck]	Δ T [K]	DISPERSSIONI Q [W]	PORTATA VOLUMICA [mc/h]	Area netta del condotto [mq]	Area netta del condotto [Cmq]	Altezza/Raggio del condotto [cm]	Base del condotto [cm]
Auditorium	Sala (complessiva)	5	3.023,8	0,35	25	66.146,5	15.119,2	0,8400	8.399,6	51,7	153,3
	Foyer/scale	3	1.839,8	0,35	25	24.147,5	5.519,4	0,3066	3.066,4	20,0	153,3
Dispersione totale UTA 1						90.294,0	20.638,6	1.1466	11.465,9	60,4	
	Galleria						5039,73	0,2800	2.799,9	29,9	
	Mandata platea						10079,47	0,5600	5.599,7	80,0	70,0
	Mandata platea ramificazione						1007,95	0,1400	1.399,9	21,1	
	Mandata galleria ramificazione						839,96	0,1167	1.166,6	19,3	
	Ripresa totale sala (2 tubi)						7559,60	0,4200	4.199,8	36,6	
	Ripresa ramificazioni sala						2519,87	0,2333	2.333,2	40,0	58,3
	Mandata foyer						5.519,4	0,5111	5.110,6	40,3	
	Ripresa foyer						2759,715	0,2555	2.555,3	28,5	
	Mandata foyer ramificazione						2759,715	0,2555	2.555,3	28,5	

UTA 2											
TIPO ELEMENTO	LOCALE	RICAMBI ORA [h]	VOLUME [mc]	Csv [Wh/mck]	Δ T [K]	DISPERSSIONI Q [W]	PORTATA VOLUMICA [mc/h]	Area netta del condotto [mq]	Area netta del condotto [Cmq]	Altezza/Raggio del condotto [cm]	Base del condotto [cm]
Bagni comuni	P-2	10	181,9	0,35	25	7.955,9	1.818,5	0,1684	1.683,8	30,0	56,1

UTA 3											
TIPO ELEMENTO	LOCALE	RICAMBI ORA [h]	VOLUME [mc]	Csv [Wh/mck]	Δ T [K]	DISPERSSIONI Q [W]	PORTATA VOLUMICA [mc/h]	Area netta del condotto [mq]	Area netta del condotto [Cmq]	Raggio del condotto [cm]	Base del condotto [cm]
Bar	Piano -4m	5	402,5	0,35	25	8804,69	2012,5	0,1863	1863	45,0	41,4
Bagni comuni	Piano -4 m	10	77,5	0,35	25	3.390,6	775,0	0,0718	717,6	35,0	20,5
Sala espositiva	Piano -4 m	5	989,2	0,35	25	21.638,1	4.945,9	0,3435	3.434,6	45,0	76,3
Dispersione totale UTA 3						33.833,4	7.733,4	0,7161	7.160,5	47,8	



Portata volumica	20638,63	7733,35	1818,50
%	68,36	25,62	6,02
	Potenza UTA1	Potenza UTA3	Potenza UTA2
POTENZA UTA	147,54	55,29	13,00

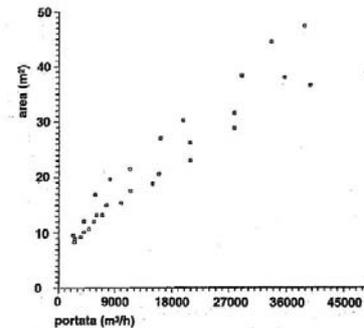
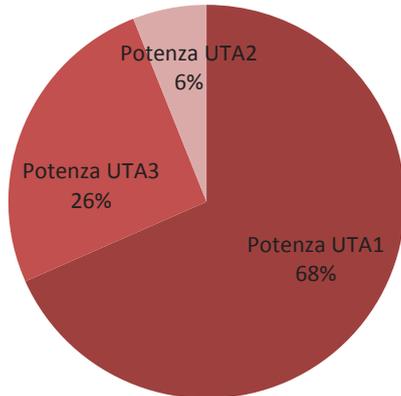


Fig. 41 Ingombri di unità di trattamento dell'aria (UTA), (tratta da: R. Zecchin, G.Fossi, M. Vio, Inserimento degli impianti ermoteccnici negli edifici storici, in: AA.VV., Atti del Convegno AICARR Impiantistica nella salvaguardia dei beni architettonici e storici, Abano Terme, 1991)

Tab. 17.6. - Ripartizione potenza utile del generatore.
Fig. 17.2. - Grafico ripartizione potenza utile del generatore.
Fig. 17.3. - Ingombro di unità di trattamento dell'aria in base alla portata volumica.

17.3 Scelte impiantistiche adottate

L'impianto dell'auditorium è composto da una pompa di calore acqua-aria ad alta efficienza (cop 4,0) abbinata ad accumulatori termici. L'aria primaria avviene attraverso ventilazione meccanica controllata immessa in condizioni neutre. Grazie all'utilizzo dell'UTA si controlla il comfort igrometrico e la qualità dell'aria. La distribuzione avviene attraverso un sistema di ventilazione meccanica accoppiato ad un sistema di emissione a bocchette.



Fig. 17.4. - Schema impiantistico adottato.

Si è optato per la realizzazione di tre UTA:

- una per il controllo della sala conferenze e del foyer;
- una per il controllo dei bagni;
- una per il controllo della sala espositiva e del bar.

Tutti i canali di mandata correnti nei cavedi e nei controsoffitti sono coibentati esternamente con materassino di lana di vetro. Gli impianti devono essere realizzati a regola d'arte, non solo per quanto riguarda le modalità di installazione, ma anche per la qualità e le caratteristiche delle apparecchiature e dei materiali. Per quanto riguarda le acque meteoriche, si prevede la raccolta in condotti separati dalle acque nere. Tale collettore, adibito alla raccolta delle acque meteoriche della copertura è posto al di sotto della piazza ipogea.



Impianto fotovoltaico

Sulla copertura dell'edificio è prevista l'installazione di pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino (220 m²), in modo tale che siano integrati al rivestimento esterno in doghe di rame.

I pannelli sono costituiti da particolari celle solari in silicio a film sottile a tripla giunzione, incapsulate in un polimero stabilizzato ai raggi ultravioletti; ogni cella solare è composta da tre giunzioni semiconduttrici sovrapposte una sopra all'altra, formando tre diverse sottocelle.

L'energia solare captata dai moduli viene trasformata in energia elettrica tramite un triplo strato di silicio amorfo, depositato in spessori micrometrici su una sottile lamina flessibile di acciaio inossidabile, ognuno dei quali è calibrato su una particolare banda dello spettro solare.

Questo tipo di impianto ha diversi vantaggi: permette la produzione di energia anche con luce solare diffusa; nel caso in cui una cella venisse danneggiata, le altre continuerebbero a produrre energia; i pannelli risultano essere molto leggeri (3,5 Kg/m²).

Dimensionamento impianto fotovoltaico

Per dimensionare l'impianto fotovoltaico, ci si è riferiti al "Decreto n°5796 dell'11/06/2009: aggiornamento della procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici"

Per il calcolo della quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico si ricorre alla seguente formula:

$$E_{el,ges,out} = E_{el,ges,out}^* - (W_{FV,AUX} * t_{FV} * N)$$

dove:

- $E_{el,ges,out}^*$: energia elettrica prodotta dal sottosistema di generazione solare fotovoltaico al netto dei consumi elettrici dovuti ad eventuali ausiliari dell'impianto solare fotovoltaico [kWh];
- $W_{FV,AUX}$: potenza elettrica degli ausiliari dell'impianto solare fotovoltaico, quali ad esempio i rotatori, ove presenti, [kW];
- t_{FV} : numero medio mensile di ore giornaliere di soleggiamento teorico [h];
- N : numero dei giorni del mese.

Per determinare $E_{el,ges,out}^*$ si è reso necessario il calcolo dei singoli termini che lo determinano.

$$E_{el,ges,out}^* = (H_{FV} * W_{FV} * F_{FV}) / H_r$$

dove:

- H_{FV} : è la radiazione solare sull'impianto fotovoltaico [kWh/m²];
- W_{FV} : è la potenza di picco, che rappresenta la potenza elettrica di un impianto fotovoltaico di una determinata superficie, con radiazione solare di 1 kW/m² su questa superficie (a 25°C) [kW];
- F_{FV} : è il fattore di efficienza dell'impianto;



- H_r : è la radiazione solare di riferimento pari a 1 kW/m^2 .

H_{FV} : Questo valore viene estratto dalla tabella, indicante le radiazioni solari mese per mese nelle province della Lombardia;

W_{FV} : Questo valore è stato determinato moltiplicando la potenza di picco, pari a $0,144 \text{ kW/m}^2$, con l'area di captazione dell'impianto;

F_{fv} : Questo valore è stato ricavato dalla tabella fornita dal Decreto n°5796 dell'11/06/2009 ed è pari a $0,75$;

H_r : 1 kW/m^2 .

GENNAIO

$E_{el,ges,out}$	1165,428	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	1165,428	kWh	H_{FV}	49,05	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	9	h	F_{FV}	0,75	-
			N	31	gg	H_r	1	kW/m^2

FEBBRAIO

$E_{el,ges,out}$	1703,592	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	1703,592	kWh	H_{FV}	71,7	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	10,2	h	F_{FV}	0,75	-
			N	28	gg	H_r	1	kW/m^2

MARZO

$E_{el,ges,out}$	2910,125	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	2910,125	kWh	H_{FV}	122,48	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	11,7	h	F_{FV}	0,75	-
			N	31	gg	H_r	1	kW/m^2

APRILE

$E_{el,ges,out}$	3472,762	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	3472,762	kWh	H_{FV}	146,16	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	13,3	h	F_{FV}	0,75	-
			N	30	gg	H_r	1	kW/m^2

MAGGIO

$E_{el,ges,out}$	3979,8	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	3979,8	kWh	H_{FV}	167,5	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	14,7	h	F_{FV}	0,75	-
			N	31	gg	H_r	1	kW/m^2

GIUGNO

$E_{el,ges,out}$	4101,451	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	4101,451	kWh	H_{FV}	172,62	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	15,4	h	F_{FV}	0,75	-
			N	30	gg	H_r	1	kW/m^2

LUGLIO

$E_{el,ges,out}$	4673,592	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	4673,592	kWh	H_{FV}	196,7	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	15,1	h	F_{FV}	0,75	-
			N	31	gg	H_r	1	kW/m^2

AGOSTO

$E_{el,ges,out}$	4097,412	kWh	$E^*_{el,ges,out}$	4097,412	kWh	H_{FV}	172,45	kWh/m^2
			$\dot{W}_{FV,Aux}$		kW	\dot{W}_{FV}	31,68	kW
			t_{FV}	13,9	h	F_{FV}	0,75	-
			N	31	gg	H_r	1	kW/m^2

Tab. 17.7. - Energia elettrica prodotta dal sottosistema di generazione solare fotovoltaico.



SETTEMBRE

$E_{el,ges,out}$	3239,914 kWh	$E^*_{el,ges,out}$	3239,914 kWh	H_{FV}	136,36 kWh/m ²
		$\dot{W}_{FV,Aux}$		\dot{W}_{FV}	31,68 kW
		t_{FV}	12,3 h	F_{FV}	0,75 -
		N	30 gg	H_r	1 kW/m ²

OTTOBRE

$E_{el,ges,out}$	2318,026 kWh	$E^*_{el,ges,out}$	2318,026 kWh	H_{FV}	97,56 kWh/m ²
		$\dot{W}_{FV,Aux}$		\dot{W}_{FV}	31,68 kW
		t_{FV}	10,7 h	F_{FV}	0,75 -
		N	31 gg	H_r	1 kW/m ²

NOVEMBRE

$E_{el,ges,out}$	1293,97 kWh	$E^*_{el,ges,out}$	1293,97 kWh	H_{FV}	54,46 kWh/m ²
		$\dot{W}_{FV,Aux}$		\dot{W}_{FV}	31,68 kW
		t_{FV}	9,3 h	F_{FV}	0,75 -
		N	30 gg	H_r	1 kW/m ²

DICEMBRE

$E_{el,ges,out}$	1062,31 kWh	$E^*_{el,ges,out}$	1062,31 kWh	H_{FV}	44,71 kWh/m ²
		$\dot{W}_{FV,Aux}$		\dot{W}_{FV}	31,68 kW
		t_{FV}	8,6 h	F_{FV}	0,75 -
		N	31 gg	H_r	1 kW/m ²

L'energia elettrica prodotta dal sottosistema di generazione solare fotovoltaico dell'intero anno è di $E_{el,ges,out} = 30778,47$ kWh.

17.4 Certificazione energetica CENED +

Le analisi per determinare la classe energetica sono state condotte con il software CENED+ così come prescritto per le certificazioni in Lombardia DGR VIII/8745.

dati:

- Ubicazione fabbricato: Milano via Celoria;
- I gradi giorno del comune dell'intervento sono 2101, determinati in base al D.P.R. 412. L'Italia è suddivisa in sei differenti fasce climatiche, il parametro utilizzato per l'individuazione della zona climatica di appartenenza di ciascun comune è il grado-giorno, ovvero la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura media esterna giornaliera.
- Destinazione d'uso E.4(1), cinema e teatri
- La zona climatica in cui ricade l'opera in oggetto è E
- La temperatura minima di progetto dell'aria esterna e successivi aggiornamenti è di -5°C
- Unica zona termica Z1
- Energia primaria suddivisa tra i bagni e il foyer+sala

Il fabbisogno annuale di energia termica dell'edificio è stato determinato sommando il fabbisogno energetico delle singole zone termiche calcolato su base mensile, separatamente per il riscaldamento o climatizzazione invernale e per il raffrescamento o climatizzazione estiva. Il fabbisogno di energia termica dell'involucro edilizio viene calcolato come somma del fabbisogno di energia termica sensibile e del fabbisogno di energia termica latente.



Indicatori di prestazione energetica:

Riscaldamento-climatizzazione estiva ETc

Classe	Altri edifici		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$	$ET_c < 2$
A	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$	$2 \leq ET_c < 4$
B	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$	$4 \leq ET_c < 8$
C	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$	$8 \leq ET_c < 12$
D	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$	$12 \leq ET_c < 16$
E	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$	$16 \leq ET_c < 20$
F	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$	$20 \leq ET_c < 24$
G	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$	$ET_c \geq 24$

Tabella A.4.4 - Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione estiva o il raffrescamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo a temperatura controllata o climatizzate [kWh/m³·anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.3.



Tab. 17.8. - Valori limite per le classi energetiche per la climatizzazione estiva. Fig. 17.5. - Indicatore Energia termica.

Riscaldamento-climatizzazione invernale EPh

Classe	Altri edifici		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$EP_h < 3$	$EP_h < 4$	$EP_h < 5$
A	$3 \leq EP_h < 6$	$4 \leq EP_h < 7$	$5 \leq EP_h < 9$
B	$6 \leq EP_h < 11$	$7 \leq EP_h < 15$	$9 \leq EP_h < 19$
C	$11 \leq EP_h < 27$	$15 \leq EP_h < 37$	$19 \leq EP_h < 46$
D	$27 \leq EP_h < 43$	$37 \leq EP_h < 58$	$46 \leq EP_h < 74$
E	$43 \leq EP_h < 54$	$58 \leq EP_h < 73$	$74 \leq EP_h < 92$
F	$54 \leq EP_h < 65$	$73 \leq EP_h < 87$	$92 \leq EP_h < 110$
G	$EP_h \geq 65$	$EP_h \geq 87$	$EP_h \geq 110$

Tabella A.4.2 - Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, espressi in chilowattora per metro cubo di volume lordo, delle parti di edificio a temperatura controllata o climatizzato [kWh/m³·anno], per tutti gli edifici, esclusi quelli di cui alla tabella A.4.1.



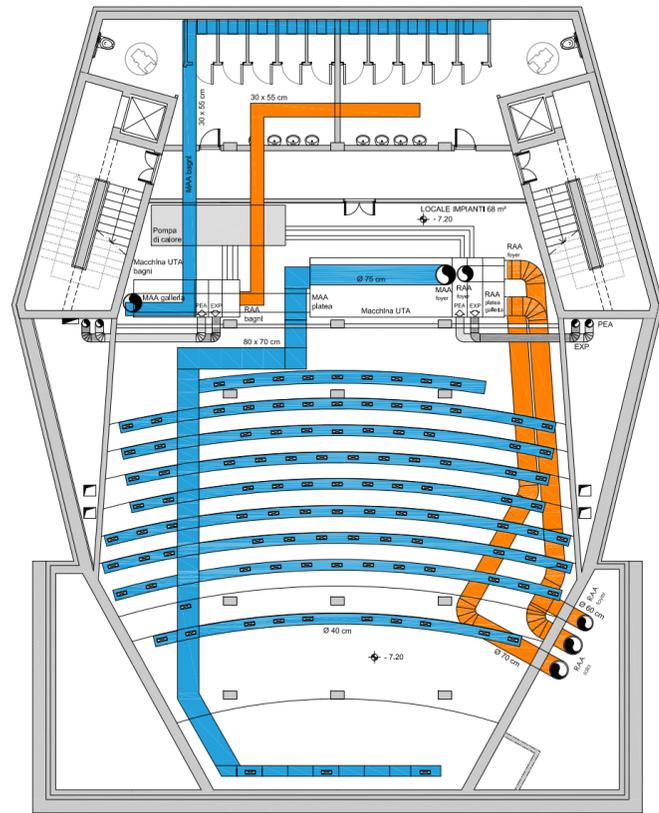
Tab. 17.9. - Valori limite per le classi energetiche per la climatizzazione invernale. Fig. 17.6. - Indicatore Energia primaria.

L'edificio non è solo caratterizzato da elevato isolamento termico, ma anche da soluzioni impiantistiche che garantiscono lo sfruttamento di fonti energetiche alternative e al contempo hanno livelli di rendimento molto elevati:

- pompa di calore a elevato COP 4,0
- impianto di ventilazione per il controllo delle condizioni igrometriche degli ambienti

Tutto questo ha portato a raggiungere la classe energetica A con un consumo di 5,35 kWh/m³ a.

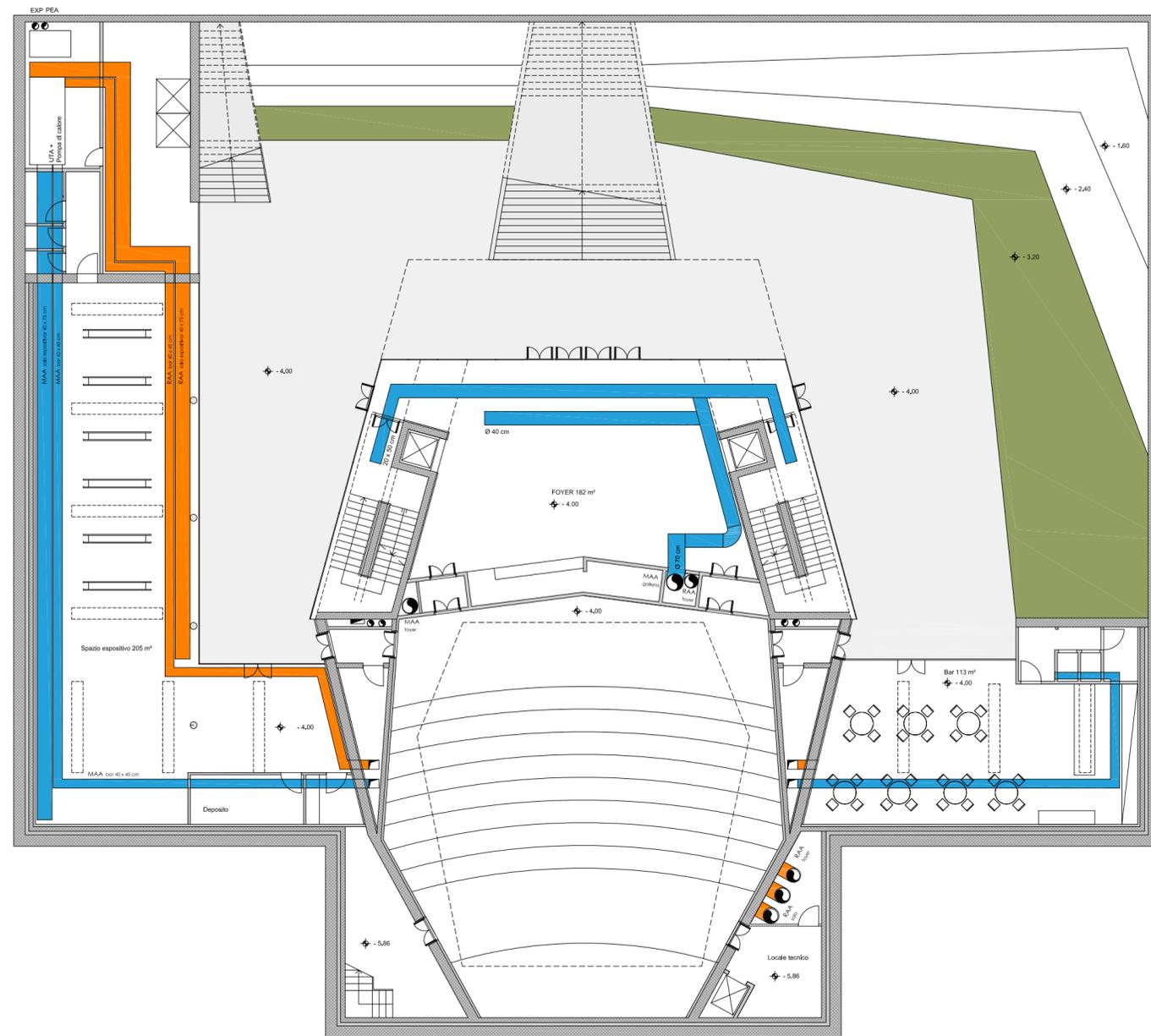




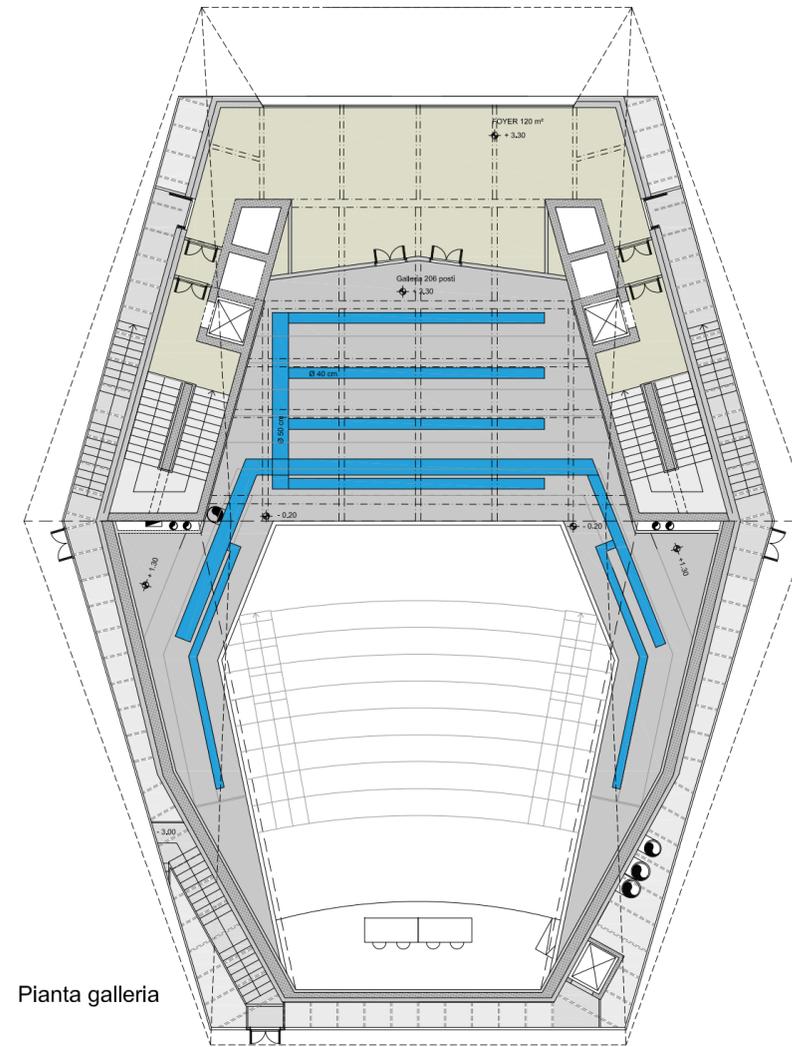
Pianta piano interrato livello -7,20 m

Potenza di ripresa per intermittenza

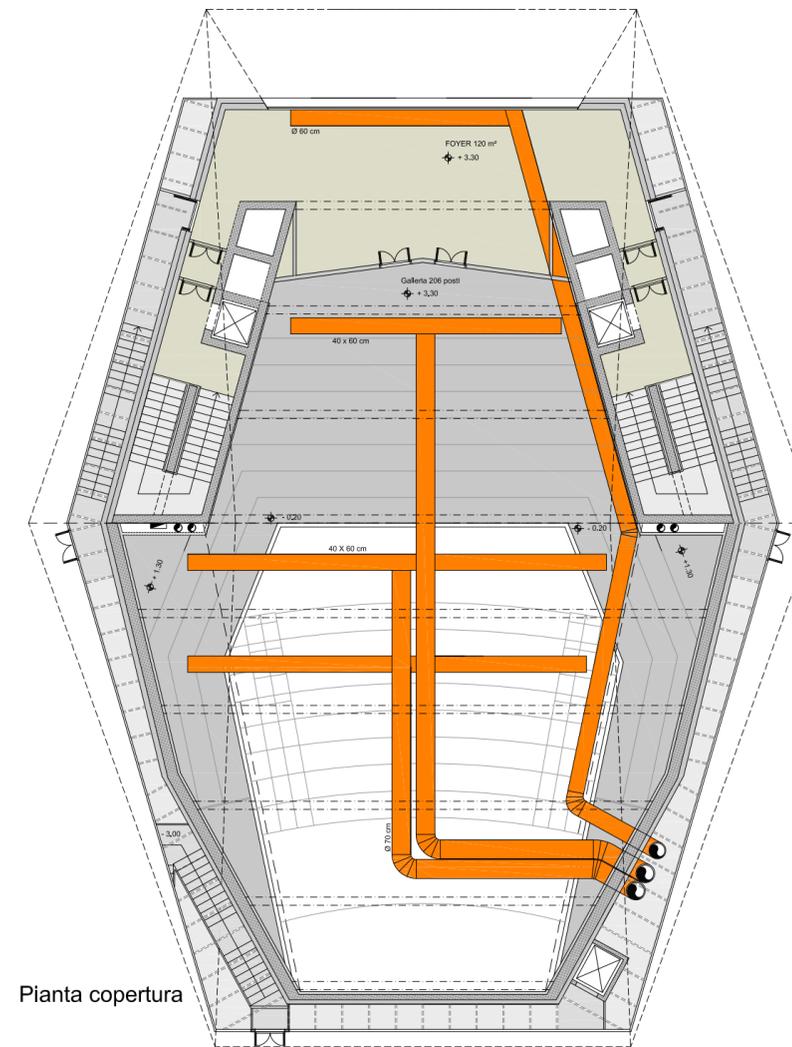
Area utile calpestabile:	1327 m ²
f _{RH} (fattore di ripresa):	18 W/m ²
Potenza di ripresa per intermittenza:	23886 W
Q termica disponibile:	179,86 kW
Potenza termica utile del generatore:	215,33 kW



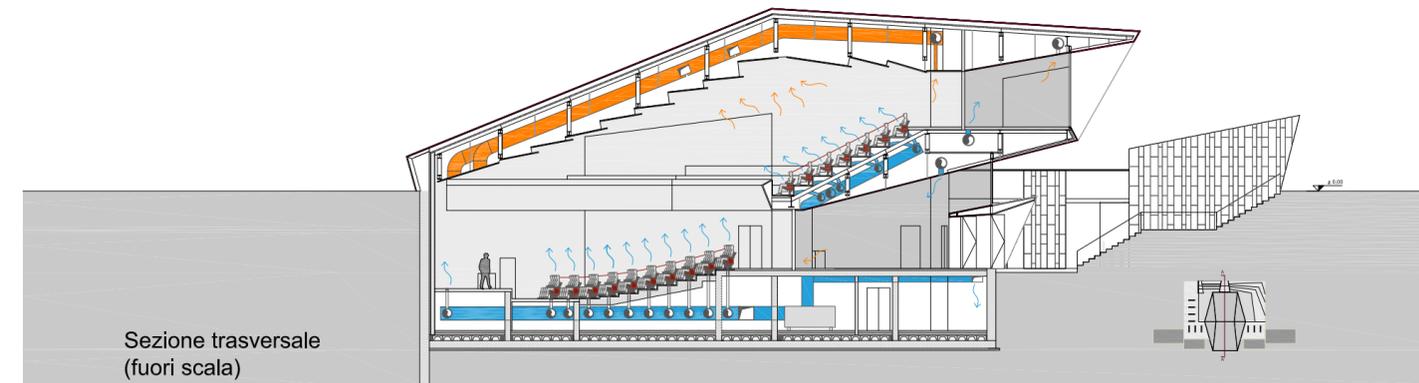
Pianta piano interrato livello -4,00 m



Pianta galleria



Pianta copertura



Sezione trasversale (fuori scala)

Conclusioni



Conclusioni

L'intervento descritto vuole diventare un esempio di come poter intervenire sul costruito perseguendo la strada della sostenibilità, ponendo attenzione alle quattro tematiche principali: People, Energy, Accessibility, Environment. Il progetto sulla facoltà di Veterinaria vuole essere un inizio per la riqualificazione del quartiere di Città Studi, focalizzando l'attenzione sulla riconversione degli edifici esistenti e sulla costruzione di nuovi manufatti altamente efficienti.

E' sempre più richiesta una progettazione complessa che comporta la necessità di una profonda integrazione tra le varie discipline impiantistiche, strutturali, tecnologiche, acustiche ed ergotecniche al fine di ottenere superiori prestazioni globali, razionalizzazione e risparmio, per giungere così all'ingegnerizzazione del progetto.

Per venire incontro anche a questa esigenza si è giunti alla progettazione integrata di un auditorium dove si è tenuto conto di questi aspetti. Infatti si è focalizzata l'attenzione prima di tutto sul rispetto degli edifici esistenti vincolati dalla Soprintendenza, utilizzando tecnologie e soluzioni strutturali appropriate. Dal punto di vista energetico e tecnologico la scelta di materiali con ottime prestazioni termiche, abbinati a macchinari ad alta efficienza ha permesso di raggiungere la classe energetica A. La progettazione strutturale affrontata parallelamente a quella architettonica ha concorso a definire la complessa geometria finale dell'edificio.

L'oggetto di studio ha dimostrato la complessità di progettare un edificio nel suo insieme: dal particolare al generale.

Il lavoro fino ad ora affrontato è un'ottima base di partenza per la definizione di ulteriori approfondimenti e analisi.





Bibliografia

- BALDUCCI A., COGNETTI F., FEDELI V., *Milano, la città degli studi: storia, geografia e politiche delle università milanesi*, Edizioni Abitare Segesta, Milano, 2010.
- BARBIERI G., DEL BO A., MANZO C. A., MENNELLA R., *Il Campus Universitario di Chieti*, Electa, Milano, 1997.
- BARILLI F. M., LACHI O. A. M., relatore PEROGALLI C., *L'architettura delle Facoltà Universitarie in Città Degli Studi*, Milano, Politecnico, Facoltà di Architettura, a.a. 1984/85.
- BELFORTE S. (a cura di) *Collegi Universitari: esempi e progetti a confronto*, Celid, Torino, 1996.
- BERNASCONI C., *L'acustica nella progettazione architettonica*, Il sole 24 ore, Milano, 2001.
- BIANCHI F. E CARRATÙ R., *L'acustica in architettura*, Città Sudi Edizione, Novara, 2007.
- BORIANI M., ROSSARI A., ROZZI R., *La Milano del piano Beruto (1884-1889): società urbanistica e architettura nella seconda metà dell'Ottocento*, Milano, Guerini, 1992.
- BROGI M. (a cura di), *Il diritto a studiare*, ADRSU, Siena, 1995.
- BRUNO A., BOLLINGER K., DAVIES J. M., FELDMANN M., GROHMANN M., MAZZOLANI F. M., *Featuring steel: resources, architecture, reflections*, Edizione Detail, Monaco, 2009.
- CAMPANELLA C., *Capitolato speciale di appalto per opere di conservazione e restauro*, Il Sole 24 ore, 1997.
- CANELLA G., D'ANGIOLINI L. S., *Università ragione contesto tipo*, Dedalo, Bari 1975.
- FORMENTI C. , CORTELLETTI R., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano, 1895.
- MALIGHETTI L. E., *Conoscere l'oggetto*, lezione del Corso di Recupero e conservazione degli edifici, Lecco, 2012.
- MALIGHETTI L. E., *Il processo di diagnosi*, lezione del Corso di Recupero e conservazione degli edifici, Lecco, 2012.
- MAMBRIANI A. (a cura di), *Università città piano*, Roma, Gangemi Editore, 1999.
- MORANDI C., *Milano: la grande trasformazione urbana*, Venezia, Marsilio, 2005.
- NUNZIATA V., *Teoria e pratica delle strutture in acciaio*, D. Flaccovio Editore, 3 ed., Palermo, 2011.
- ROMANELLI D., *Napoli antica e moderna*, Napoli, 1815.
- RONCHI O., *Alloggi di scolari a Padova nei secoli XII e XVIII*, Padova, 1923.
- SPAGNOLO R. E CINGOLANI S. (a cura di), *Acustica musicale e architettonica*, Città Sudi Edizione, Milano, 2008.
- WIMMER F., *Tipologie di auditorium con esempi*, Detail n. 3, pag. 170-177, 2009.



Sitografia

www.campus-sostenibile.polimi.it
www.cened.it
www.dmaa.at
www.international-sustainable-campus-network.org
www.polimi.it
www.smart-cities.eu
www.veterinaria.unimi.it

Normativa di riferimento

Circolare Ministero LL. PP. n. 3151 del 22/05/1967, *Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione delle costruzioni edilizie.*

D.M. 16/05/1987, n. 246 *Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione.*

NORMAL 1/88, *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico.*

D.M. 14/06/1989, n. 236 *Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.*

D.lgs. 626/94 - *Disposizioni in materia di sicurezza sul lavoro.*

D.P.R. 24/06/1996, n. 503 *Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici.*

D.M. 19/08/1996, *Prevenzione incendi per progettazione, costruzione ed esercizio locali di intrattenimento e spettacolo.*

D.M. 10/03/1998 - *Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro.*

Regolamento edilizio del Comune di Milano approvato dal consiglio comunale il 20/07/99, in vigore dal 20/10/99.

D. Lgs 42/2004 - *Codice dei beni culturali e del paesaggio.*

D.M. 14/01/2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni.*

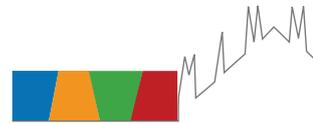
D.Lgs. 81/2008 – *T.U. sulla salute e sicurezza sul lavoro.*

Circolare 26/02/2009, n. 617 - *Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

Decreto 5796, 11/06/2009 - *Aggiornamento per la procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici.*

D.Lgs. 311/2010, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

UNI 10339, *Classificazione e la definizione dei requisiti minimi degli impianti e dei valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento degli stessi.*



Indice delle figure

Città Studi Campus Sostenibile

- Fig. 1.1. - Vista da Piazza Leonardo da Vinci: foto storica.
- Fig. 2.1. - Obiettivi e logo del progetto Smart City.
- Fig. 2.2. - Carta delle Università aderenti all'ISCN.
- Fig. 2.3. - La home page della piattaforma web del progetto Città Studi Campus Sostenibile.
- Fig. 2.4. - Cartina delle Smart Cities Europee (da www.smart-cities.eu).
- Conoscere per proporre
- Fig. 3.1. - Il New College a Oxford. Il "quadrangolo" trecentesco con la cappella gotica in un disegno dal Chandler Manuscript, 1465.
- Fig. 3.2. - Giacomo Della Porta (1533-1602) e Francesco Borromini (1599-1667), Pianta del Palazzo della Sapienza a Roma, 1579-1650.
- Fig. 3.3. - A sinistra: la zona di Città Studi. Vista a volo d'uccello (Foto storica).
- Fig. 3.4. - A destra: progetto originario per l'area di Città Studi.
- Fig. 3.5. - Il Gonville College a Cambridge in David Loggard, Cantabrigia illustrata (1688). La corte aperta fu costruita dopo il 1560 a chiudere il "quadrangolo" del nucleo originario.
- Fig. 4.1. - Veduta del progetto per il nuovo complesso universitario di Brescia.
- Fig. 4.2. - Veduta del progetto per il nuovo complesso universitario di Brescia.
- Fig. 4.3. - Il sistema universitario di Pavia nel 1921. 1. Palazzo università - Facoltà: lettere e filosofia; giurisprudenza; scienza; Scuole: di magistero; degli ingegneri. 2. Ospedale di S. Matteo - Facoltà di medicina e chirurgia. 3. Orto botanico - Facoltà: medicina e chirurgia; scienze. 4. Palazzo del Maino - Facoltà di medicina e chirurgia. 5. Palazzo Botta - Facoltà di medicina e chirurgia. 6. Clinica delle malattie nervose e mentali - Facoltà di medicina e chirurgia. 7. Ex Chiesa Certosina - Scuola speciale di chimica industriale. 8. Collegio Borromeo. 9. Collegio Ghislieri. 10. Collegio Castiglioni.
- Fig. 4.6. - Politecnico di Milano. Planimetria generale del progetto di ampliamento, 1970.
- Fig. 4.7. - Politecnico di Milano. Planimetria generale del progetto di ampliamento, 1970.
- Fig. 5.1. - Benjamin Henry Latrobe, Schizzo per la University of Virginia in una lettera a Thomas Jefferson del 1817.
- Fig. 5.2. - Ludwig Mies Van Der Rohe, Illinois Institute of Technology, Crown Hall, Chicago, Illinois, 1950 - 1956 (Foto storica).
- Fig. 5.3. - Alvar Aalto, Massachusetts Institute of Technology, Baker House, Chicago, Illinois, 1946-49.
- Fig. 6.1. - Pellegrino Tibaldi (1527-1596), Vista del cortile del Collegio Borromeo a Pavia, 1563-1581, in un disegno di Bernhard Friedrich Werner (1690-1778).

Analisi del contesto

- Fig. 7.1. - Foto dell'area nei pressi della Città degli Studi: Istituto nazionale dei tumori.
- Fig. 7.2. - Foto dell'area nei pressi della Città degli Studi: Segreteria studenti.

Il rilievo

- Fig. 8.1. - Pianta piano terra Facoltà di Veterinaria, zona Città Studi, Milano.
- Fig. 8.2. - Foto della Facoltà di Veterinaria, zona Città Studi, Milano.
- Fig. 8.3. - Foto della Facoltà di Veterinaria, zona Città Studi, Milano.
- Fig. 8.4. - Foto della Facoltà di Veterinaria, zona Città Studi, Milano.



- Fig. 8.5. - Disegni originali di progetto: Pianta piano primo edificio 2 (ex. fisiologia).
- Fig. 8.6. - Disegni originali di progetto: Pianta Piano primo edificio 7 (ex infermeria).
- Fig. 8.7. - Disegni originali di progetto: Prospetto nord edificio 2 (ex fisiologia).
- Fig. 9.1. - Rilievo metrico: esempio di pianta _ edificio 2.
- Fig. 9.2. - Rilievo metrico: esempio di prospetto _ edificio 8.
- Fig. 9.3. - Esempi di sistemi tecnologici tratti dal Manuale Formenti-Cortelletti: Sistema di solaio misto putrelle in acciaio e tavelloni.
- Fig. 9.4.- Esempi di sistemi tecnologici tratti dal Manuale Formenti-Cortelletti: Imposte di legno per le aperture delle finestre.
- Fig. 9.5. - Schede delle anomalie visibili: Esempio di albero degli errori.

Avvicinamento al progetto

- Fig. 10.1. - People: dalla zonizzazione alla mixité.
- Fig. 10.2. - Energy: miglioramento dei pacchetti tecnologici.
- Fig. 10.3. - Energy: uso di fonti rinnovabili.
- Fig. 10.4. - Energy: recupero delle acque meteoriche.
- Fig. 10.5. - Environment: messa a sistema del verde.
- Fig. 10.6. - Environment: il verde oggi.
- Fig. 10.7. - Environment: aspettative future.
- Fig. 10.8. - Accessibility: eliminazione delle barriere fisiche per aprire alcune parti di città.
- Fig. 10.9. - Accessibility: nuove sezioni stradali.

- Fig. 11.1. - Schemi esplicativi dell'impianto dell'isolato di Veterinaria.
- Fig. 11.2. - Le funzioni pubbliche poste su strada contribuiscono alla creazione di un rapporto con la città.
- Fig. 11.3. - Connessione tra fabbricati realizzata in ipogeo.
- Fig. 11.4. - Sala congressi posta sul limitare sud dell'isolato di Veterinaria.
- Fig. 11.5. - Organigrammi funzionali: P-1, PT e P1.
- Fig. 11.6. - Disegno dello spazio aperto.
- Fig. 11.7. - Schemi esplicativi.

- Fig. 12.1. - Esempi di interventi di conservazione: Pulitura con acqua nebulizzata.
- Fig. 12.2. - Esempi di interventi di conservazione: Ristilatura dei giunti di malta.
- Fig. 12.3. - Esempi di interventi di conservazione: Microsabbatura.
- Fig. 12.4. - Esempi di interventi di conservazione: Applicazione di idrorepellente.

Il progetto architettonico

- Fig. 13.1. - Pianta piani terra area di progetto.
- Fig. 13.2. - Pianta primo livello interrato - 4,00 m, auditorium, sala espositiva e bar.
- Fig. 13.3. - Costruzione curva di visibilità platea.
- Fig. 13.4. - Pianta piano terra, auditorium.
- Fig. 13.5. - Sezione longitudinale AA', auditorium.
- Fig. 13.6. - Sezione trasversale BB', auditorium.
- Fig. 13.7. - Prospetto Nord, auditorium.
- Fig. 13.8. - Prospetto Est, auditorium.
- Fig. 13.9. - Prospetto Sala espositiva, auditorium.
- Fig. 13.10. - Verifiche prevenzione incendi, piano -1 (-4.00 m)
- Fig. 13.11. - Verifiche prevenzione incendi, piano terra (± 0.00 m)
- Fig. 13.12. - Verifica accessibilità piano -1 (-4.00 m)
- Fig. 13.13. - Verifica accessibilità piano -2 (-7.20 m)



Il progetto tecnologico

- Fig. 14.1. - Rivestimento in rame con giunzioni maschio - femmina.
- Fig. 14.2. - Finitura rivestimento in rame pre - ossidato.
- Fig. 14.3. - Sezione triplo vetro.
- Fig. 14.4. - Vetro float.
- Fig. 14.5. - Vetro selettivo.
- Fig. 14.6. - Sezione doppio vetro selettivo.
- Fig. 14.7. - Solaio interpiano.
- Fig. 14.8. - Iglù.
- Fig. 14.9. - Isolante in fibra di legno.
- Fig. 14.10. - Solaio di copertura Auditorium (sopra).
- Fig. 14.11. - Isolante Isotec XI (sinistra).
- Fig. 14.12. - Isolante in fibra di cellulosa (destra).
- Fig. 14.13. - Tetto giardino CO_03p
- Fig. 14.14. - Muro esterno foyer CV_01p.
- Fig. 14.15. - Muro controterra CV_02p.
- Fig. 14.16. - Muro controterra laterale CV_03p.
- Fig. 14.17. - Muro controterra laterale CV_04p.
- Fig. 14.18. - Vetrata CV_05p.
- Fig. 14.19. - Muro laterale bar esposizione CV_06p.
- Fig. 14.20. - Muro controterra bar esposizione con paratia CV_07p.
- Fig. 14.21. - Muro controterra bar esposizione con muro a mensola CV_08p.
- Fig. 14.22. - Solaio piano interrato POI_01p.
- Fig. 14.23. - Solaio primo piano foyer POI_01p.

Approfondimento acustico

- Fig. 15.1. - Assorbimento del suono.
- Fig. 15.2. - Valori dei tempi di riverberazione in funzione dell'uso e del volume della sala.

Il progetto strutturale

- Fig. 16.1. - Stratigrafia solaio controterra: CO_01p
- Fig. 16.2. - Stratigrafia solaio di copertura: CO_02p
- Fig. 16.3. - Stratigrafia solaio di copertura: CO_03p
- Fig. 16.4. - Stratigrafia solaio di interpiano piano (-7.20/-4)m: POI_01p
- Fig. 16.5. - Stratigrafia solaio di interpiano piano (-4/+8.30)m: POI_02p
- Fig. 16.6. - Stratigrafia chiusura verticale Foyer: CV_01p
- Fig. 16.7. - Stratigrafia chiusura verticale controterra lato palco: CV_02p
- Fig. 16.8. - Stratigrafia chiusura verticale controterra laterale: CV_03p
- Fig. 16.9. - Stratigrafia chiusura verticale laterale: CV_04p
- Fig. 16.10. - Stratigrafia chiusura verticale vetrata: CV_05p
- Fig. 16.11. - Stratigrafia chiusura verticale laterale bar/esposizione: CV_06p
- Fig. 16.12. - Stratigrafia chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_07p
- Fig. 16.13. - Stratigrafia chiusura verticale controterra bar/esposizione CV_08p
- Fig. 16.14. - Stratigrafia partizione interna verticale: PVI_01p
- Fig. 16.15. - Stratigrafia partizione interna verticale: PVI_02p
- Fig. 16.16. - Stratigrafia partizione interna verticale vano scale/sala interna: PVI_03p
- Fig. 16.17. - Stratigrafia partizione interna verticale: PVI_04p
- Fig. 16.18. - Stratigrafia partizione interna verticale: PVI_05p
- Fig. 16.19. - Stratigrafia partizione interna verticale vano scale/foyer: PVI_06p
- Fig. 16.20. - Stratigrafia partizione interna verticale laterale: PVI_07p
- Fig. 16.21. - Mappa delle zone in cui è diviso il territorio italiano.



- Fig. 16.22. - Definizione delle categorie di esposizione.
- Fig. 16.23. - Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota, per c_t pari a 1.
- Fig. 16.24. - Valori di c_{pe} al variare dell'angolo α .
- Fig. 16.25. - Coefficienti di forma per gli edifici (1).
- Fig. 16.26. - Coefficienti di forma per gli edifici (2).
- Fig. 16.27. - Schema azione del vento in direzione y sull'edificio.
- Fig. 16.28. - Schema azione del vento in direzione x sull'edificio.
- Fig. 16.29. - Schema azione del vento in direzione $-x$ sull'edificio.
- Fig. 16.30. - Zone di carico da neve.
- Fig. 16.31. - Sezione quotata lamiera grecata tipo "Hi-Bond A55 P.600"
- Fig. 16.32. - Pianta strutturale: piano copertura. Area d'influenza trave secondaria 8-EF e 8-HI. Fuori scala.
- Fig. 16.33. - Schema statico trave secondaria 8-EF.
- Fig. 16.34. - Schema statico trave secondaria 8-HI.
- Fig. 16.35. - Schema statico trave reticolare di copertura HH'.
- Fig. 16.36. - Azioni assiali (N) e momento flettente (M)
- Fig. 16.37. - Curve d'instabilità per le varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.
- Fig. 16.38. - Sezione quotata lamiera grecata tipo "Hi-Bond A75 P.760"
- Fig. 16.39. - Pianta strutturale: piano galleria. Area d'influenza trave secondaria 7-AB e 3-AB. Fuori scala.
- Fig. 16.40. - Schema statico trave secondaria 7-AB.
- Fig. 16.41. - Schema statico trave secondaria 3-AB.
- Fig. 16.42. - Schema statico trave reticolare galleria BB'.
- Fig. 16.43. - Sezione strutturale trasversale.
- Fig. 16.44. - Pianta strutturale: piano galleria. Trave sbalzo galleria AA'-4 10. Fuori scala.
- Fig. 16.45. - Schema statico trave AA'-4 10.
- Fig. 16.46. - Diagramma del Taglio.
- Fig. 16.47. - Diagramma del Momento.
- Fig. 16.48. - Carico trave fittizia.
- Fig. 16.49. - Setto esterno in c.a.p.
- Fig. 16.50. - Combinazione di carico SLU per predimensionamento setto.
- Fig. 16.51. - Combinazione di carico SLE per predimensionamento setto.
- Fig. 16.52. - Combinazione di carico G per predimensionamento setto.
- Fig. 16.53. - Sezione ancoraggio a tendere per cavi di post-tensione. Fuori scala.
- Fig. 16.54. - Piastra di ancoraggio cavi di post-tensione. Fuori scala.
- Fig. 16.55. - Diagramma spinte attive e passive agenti sulla paratia.
- Fig. 16.56. - Schematizzazione scavo tramite l'utilizzo di macchine provviste di ganasce.
- Fig. 16.57. - Sezione edificio esistente e porzione di auditorium.
- Fig. 16.58. - Sezione scavo per la realizzazione del muro a mensola.
- Fig. 16.59. - Spinte agenti sul muro controterra per la verifica a traslazione.
- Fig. 16.60. - Sezione scavo per la realizzazione del muro a mensola per la verifica a ribaltamento.
- Fig. 16.61. - Vincoli di quartiere.
- Fig. 16.62. - Linee generali per l'allestimento del cantiere.
- Fig. 16.63. - Fase 1: trasporto e stoccaggio trave reticolare.
- Fig. 16.64. - Fase 2: Montaggio trave reticolare.
- Fig. 16.65. - Sezione, pianta e prospetto copriunto. Fuori scala.
- Fig. 16.66. - Fase 3: sollevamento e posa in quota della trave reticolare. Fuori scala.
- Fig. 16.67. - Sequenza fasi di tesatura dei cavi post-tesi.

Il progetto impiantistico

- Fig. 17.1. - Schema del bilancio energetico di un edificio.
- Fig. 17.2. - Grafico ripartizione potenza utile del generatore.



- Fig. 17.3. - Ingombro di unità di trattamento dell'aria in base alla portata volumica.
 Fig. 17.4. - Schema impiantistico adottato.
 Fig. 17.5. - Indicatore Energia termica.
 Fig. 17.6. - Indicatore Energia primaria.

Indice delle tabelle

Il rilievo

Tab.9.1 – Schema per la catalogazione dei locali

Approfondimento acustico

- Tab. 15.1. - Tempo di riverberazione T60 in base alla destinazione d'uso della sala.
 Tab. 15.2. - Volume e superfici della sala dell'auditorium.
 Tab. 15.3. - Tempo di riverberazione con sala completamente in calcestruzzo.
 Tab. 15.4. - Coefficienti di assorbimento dei materiali di progetto.
 Tab. 15.5. - Analisi acustica.
 Tab. 15.6. - Analisi acustica in base all'occupazione della sala.
 Tab. 15.7. - Tempo di riverberazione T60 (Sabine).
 Tab. 15.8. - Coefficiente di assorbimento medio.
 Tab. 15.9. - Tempo di riverberazione T60 (Eyring).

Il progetto strutturale

- Tab. 16.1. - Computo carico G2 solaio controterra: CO_01p
 Tab. 16.2. - Computo carico G2 solaio di copertura: CO_02p
 Tab. 16.3. - Computo carico G2 tetto giardino: CO_03p
 Tab. 16.4. - Computo carico G2 solaio interpiano (-7.20/-4)m: POI_01p
 Tab. 16.5. - Computo carico G2 solaio interpiano (-4/+8.30)m: POI_02p
 Tab. 16.6. - Computo carico G2 chiusura verticale Foyer: CV_01p
 Tab. 16.7. - Computo carico G2 chiusura verticale controterra lato palco: CV_02p
 Tab. 16.8. - Computo carico G2 chiusura verticale controterra laterale: CV_03p
 Tab. 16.9. - Computo carico G2 chiusura verticale laterale: CV_04p
 Tab. 16.10. - Computo carico G2 chiusura verticale vetrata: CV_05p
 Tab. 16.11. - Computo carico G2 chiusura verticale laterale bar/esposizione: CV_06p
 Tab. 16.12. - Computo carico G2 chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_07p
 Tab. 16.13. - Computo carico G2 chiusura verticale controterra bar/esposizione: CV_08p
 Tab. 16.14. - Computo carico G2 partizione interna verticale: PVI_01p
 Tab. 16.15. - Computo carico G2 partizione interna verticale: PVI_02p
 Tab. 16.16. - Computo carico G2 partizione interna verticale vano scale/sala interna: PVI_03p
 Tab. 16.17. - Computo carico G2 partizione interna verticale: PVI_03p
 Tab. 16.18. - Computo carico G2 partizione interna verticale: PVI_05p
 Tab. 16.19. - Computo carico G2 partizione interna verticale vano scale/foyer: PVI_06p
 Tab. 16.20. - Computo carico G2 partizione interna verticale laterale: PVI_07p
 Tab. 16.21. - Valori nominali e/o caratteristici qk, Qk e Hk per le diverse categorie di edifici.
 Tab. 16.22. - Valori dei parametri vb,0 ,a0, ka.
 Tab. 16.23. - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione.
 Tab. 16.24. - Classi di rugosità del terreno.
 Tab. 16.25. - Valori di CE per le diverse classi di topografia.



- Tab. 16.26. - Valore dei coefficienti di forma in relazione alla pendenza della falda di copertura.
- Tab. 16.27. - Caratteristiche meccaniche della lamiera scelta.
- Tab. 16.28. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.
- Tab. 16.29. - Caratteristiche profilo IPE 160.
- Tab. 16.30. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.
- Tab. 16.31. - Caratteristiche profilo IPE 160.
- Tab. 16.32. - Caratteristiche profilo UPN 220.
- Tab. 16.33. - Caratteristiche profilo UPN 220.
- Tab. 16.34. - Caratteristiche profilo L 50x50x5.
- Tab. 16.35. - Caratteristiche profilo UPN 120.
- Tab. 16.36. - Caratteristiche profilo L 50x50x5.
- Tab. 16.37. - Caratteristiche meccaniche della lamiera scelta.
- Tab. 16.38. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.
- Tab. 16.39. - Caratteristiche profilo IPE 240.
- Tab. 16.40. - Caratteristiche profilo IPE 240.
- Tab. 16.41. - Caratteristiche profilo UPN 220.
- Tab. 16.42. - Caratteristiche profilo L 50x50x6.
- Tab. 16.43. - Caratteristiche profilo UPN 100.
- Tab. 16.44. - Caratteristiche profilo L 50x50x6.
- Tab. 16.45. - Caratteristiche profilo HEA 450.
- Tab. 16.46. - Reazioni vincolari agenti sul setto esterno in c.a.p.
- Tab. 16.47. - Dati terreno da letteratura specifica.
- Tab. 16.48. - Dati terreno utilizzati per le verifiche.
- Tab. 16.49. - Dati iniziali utilizzati per le verifiche.
- Tab. 16.50. - Geometria muro a mensola.
- Tab. 16.51. - Sforzi efficaci agenti sul muro controterra.
- Tab. 16.52. - Spinte agenti sul muro e rispettivi bracci dal CIR.
- Tab. 16.53. - Peso del terreno, muro e sovraccarico laterale con rispettivi bracci.

Il progetto impiantistico

- Tab. 17.1. - Temperature di progetto.
- Tab. 17.2. - Riepilogo trasmittanze di progetto.
- Tab. 17.3. - Dispersioni per ventilazione.
- Tab. 17.4. - Dispersioni per trasmissione.
- Tab. 17.5. - Predimensionamento condotti UTA.
- Tab. 17.6. - Ripartizione potenza utile del generatore.
- Tab. 17.7. - Energia elettrica prodotta dal sottosistema di generazione solare fotovoltaico.
- Tab. 17.8. - Valori limite per le classi energetiche per la climatizzazione estiva.
- Tab. 17.9. - Valori limite per le classi energetiche per la climatizzazione invernale.

Indice delle schede

Il rilievo

Schede di prediagnosi relative al guasto:

- Scheda muta
- Scheda n. 1: lacune o mancanze, rappezzati in malta cementizia.
- Scheda n. 2: microfessurazione dell'intonaco, rigonfiamento, efflorescenze saline.
- Scheda n. 3: vegetazione infestante, patina biologica, muschi.



- Scheda n. 4: ossidazione dei metalli con formazione di prodotti di corrosione.
- Scheda n. 5: esfoliazione della vernice.
- Scheda n. 6: alterazione da invecchiamento dei serramenti lignei.
- Scheda n. 7: depositi superficiali.
- Scheda n. 8: erosione superficiale della pietra artificiale.
- Scheda n. 9: alterazione cromatica, dilavamento, umidità discendente di percolamento.
- Scheda n. 10: sfarinamento del laterizio.
- Scheda n. 11: mancanza di tegole.

Avvicinamento al progetto

Schede di tecniche degli interventi:

- Scheda muta
- Scheda n. 1: pulitura dell'intonaco di facciata: fase preliminare di ogni intervento.
- Scheda n. 2: ripristino dell'intonaco di facciata.
- Scheda n. 3: consolidamento dell'intonaco di facciata.
- Scheda n. 4: eliminazione dell'umidità discendente.
- Scheda n. 5: pulitura e ripristino degli elementi in pietra artificiale.
- Scheda n. 6: ripristino dell'intonaco di facciata a seguito di rimozione di rappezzamenti incoerenti.
- Scheda n. 7: ripristino di elementi decoesi o distaccati.
- Scheda n. 8: ripristino degli elementi metallici.
- Scheda n. 9: ripristino degli infissi in legno.
- Scheda n. 10: ripasso del manto di copertura.
- Scheda n. 11: pulitura e consolidamento della pittura a tempera esterna.

Il progetto architettonico

- Scheda 1: Festival hall of tiroler festspiele Erl.
- Scheda 2: Philharmonie, Berlino.
- Scheda 3: Agora Theatre and congress centre.

Il progetto tecnologico

Schede delle verifiche prestazionali:

- Scheda n. 1: CO_01p
- Scheda n. 2: CO_02p
- Scheda n. 3: CO_03p
- Scheda n. 4: CV_01p
- Scheda n. 5: CV_02p
- Scheda n. 6: CV_03p
- Scheda n. 7: CV_04p
- Scheda n. 8: CV_06p
- Scheda n. 9: CV_07p
- Scheda n. 10: POI_02p



Indice delle tavole

Città Studi Campus Sostenibile

- Tav.001 - Raccolta cartografia storica
- Tav.002 - Obiettivi di progetto
- Tav.003 - Progettare la sostenibilità

Analisi del contesto

- Tav.004 - Analisi alla scala territoriale_Sedi universitarie e residenze studentesche
- Tav.005 - Analisi alla scala territoriale_Mobilità studentesca e pendolarismo
- Tav.006 - Analisi alla scala territoriale_Demografia e dati climatici
- Tav.007 - Analisi alla scala territoriale_Disegno urbano: morfologia del costruito e degli spazi verdi
- Tav.008 - Analisi alla scala territoriale_Lettura della morfologia urbana
- Tav.009 - Analisi alla scala territoriale_Palinsesto Storico
- Tav.010 - Analisi alla scala territoriale_Pieni e vuoti
- Tav.011 - Analisi alla scala territoriale_Altezza degli edifici
- Tav.012 - Analisi alla scala territoriale_Sistema del verde
- Tav.013 - Analisi alla scala territoriale_Lettura delle funzioni
- Tav.014 - Analisi alla scala territoriale_Lettura trasporti ed accessibilità
- Tav.015 - Analisi alla scala territoriale_Analisi FDOM
- Tav.016 - Analisi alla scala di quartire_Rilievo fotografico della zona di Città Studi

Il rilievo

- Tav.017 - Rilievo fotografico_Edifici facoltà di Veterinaria
- Tav.018 - Rilievo fotografico_Ed1
- Tav.019 - Rilievo fotografico_Ed1B
- Tav.020 - Rilievo fotografico_Ed2
- Tav.021 - Rilievo fotografico_Ed3
- Tav.022 - Rilievo fotografico_Ed3B
- Tav.023 - Rilievo fotografico_Ed4
- Tav.024 - Rilievo fotografico_Ed5
- Tav.025 - Rilievo fotografico_Ed6
- Tav.026 - Rilievo fotografico_Ed7
- Tav.027 - Rilievo fotografico_Ed8
- Tav.028 - Rilievo fotografico_Ed9
- Tav.029 - Inquadramento storico_Evoluzioni e variazioni per soglie significative
- Tav.030 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Sotterraneo_Piano Rialzato
- Tav.031 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Primo_Piano Secondo
- Tav.032 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Sotterraneo
- Tav.033 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Rialzato
- Tav.034 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Primo
- Tav.035 - Rilievo metrico_Edificio 8_Pianta Piano Secondo
- Tav.036 - Rilievo metrico_Edificio 8_Prospetto Est
- Tav.037 - Rilievo metrico_Edificio 8_Prospetto Nord
- Tav.038 - Rilievo metrico_Edificio 8_Prospetto Ovest
- Tav.039 - Rilievo metrico_Edificio 8_Prospetto Sud
- Tav.040 - Rilievo metrico_Edificio 8_Sezione longitudinale_Sezione trasversale
- Tav.041 - Rilievo tecnologico dell'esistente
- Tav.042 - Rilievo materico edificio 8_Prospetto Est
- Tav.043 - Rilievo materico su fotoradriamento edificio 8_Prospetto Est
- Tav.044 - Rilievo materico edificio 8_Prospetto Nord



Tav.045 - Rilievo materico su fotoradriamento edificio 8_Prospetto Nord
Tav.046 - Degrado edificio 8_Prospetto Est
Tav.047 - Degrado edificio 8_Prospetto Nord
Tav.048 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-1
Tav.049 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-2
Tav.050 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Le-1
Tav.051 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Me-1
Tav.052 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Pf-1
Tav.053 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Pf-2
Tav.054 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-3
Tav.055 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-4
Tav.056 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-5
Tav.057 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-6
Tav.058 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-7
Tav.059 - Scheda delle anomalie visibili_Cod In-8
Tav.060 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Ce-1
Tav.061 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Pt-1
Tav.062 - Scheda delle anomalie visibili_Cod La-1
Tav.063 - Scheda delle anomalie visibili_Cod Ce-2

Avvicinamento al progetto

Tav.064 - People_Dalla zonizzazione alla mixitè
Tav.065 - Energy_Miglioramento efficienza energetica
Tav.066 - Energy_Produzione energia elettrica
Tav.067 - Energy_Recupero acque grigie e meteoriche
Tav.068 - Environment_Green web
Tav.069 - Environment_Green equip
Tav.070 - Accessibility
Tav.071 - Accessibility
Tav.072 - Tavola riassuntiva delle proposte di intervento globali
Tav.073 - Progettare la sostenibilità
Tav.074 - Planimetria Stato di fatto_P-1
Tav.075 - Planimetria Stato di fatto_PT
Tav.076 - Planimetria Stato di fatto_P1
Tav.077 - Planivolumetrico di progetto
Tav.078 - Organigramma funzionale_P-1
Tav.079 - Organigramma funzionale_PT
Tav.080 - Organigramma funzionale_P1
Tav.081 - Pieni e vuoti PT

Il progetto architettonico

Tav. 082 - Pianta PT
Tav. 083 - Pianta P-1
Tav. 084 - Pianta P-2
Tav. 085 - Pianta costruzioni/demolizioni PT
Tav. 086 - Pianta costruzioni/demolizioni P-1
Tav. 087 - Prospetto Nord
Tav. 088 - Prospetto Est
Tav. 089 - Prospetto sala espositiva
Tav. 090 - Sezione longitudinale AA'
Tav. 091 - Sezione trasversale BB'
Tav. 092 - Verifica prevenzione incendi
Tav. 093 - Verifica accessibilità



Il progetto tecnologico

- Tav. 094 - Abaco delle classi di unità tecnologica 1
- Tav. 095 - Abaco delle classi di unità tecnologica 2
- Tav. 096 - Abaco delle classi di unità tecnologica 3
- Tav. 097 - Particolare tecnologico copertura e interpiano foyer
- Tav. 098 - Particolare tecnologico gradonata
- Tav. 099 - Particolare tecnologico copertura trasversale
- Tav. 100 - Particolare tecnologico sala espositiva

Approfondimento acustico

- Tav. 101 - Sezione longitudinale AA'_studio riflessioni acustiche intradosso

Il progetto strutturale

- Tav. 102 - Pianta strutturale copertura
- Tav. 103 - Pianta strutturale galleria
- Tav. 104 - Pianta strutturale P-2
- Tav. 105 - Dettagli collegamenti
- Tav. 106 - Setto in c.a.p.
- Tav. 107 - Considerazioni ergotecniche

Il progetto impiantistico

- Tav. 108 - Distribuzione impianto di ventilazione UTA

