

Il progetto architettonico



13. La residenza per studenti

Proporre l'insediamento di spazi residenziali per l'università si pone all'interno di una politica di risposta concreta alla storica penuria di abitazioni convenzionate per studenti fuori sede. Non si tratta solo di un aumento del numero di alloggi: il progetto vuole essere soprattutto una struttura a supporto e supportata dall'università, grazie anche alla vicinanza spaziale alla stessa. Un esperimento embrionale di applicazione del modello a Campus, tipico della tradizione anglosassone, inteso come possibilità di vivere l'università e le relazioni che all'interno di essa si istaurano fin dentro la singola unità abitativa. Lo spazio dell'abitare non solo come nido del singolo, ma come grande alveare, chiostro dello studente, dove collettivo e privato si confrontano.

La residenza occupa gli edifici posti ai lati dell'asse centrale d'impianto. Per quelli ad est, in affaccio su via Ponzio, essa entra nel progetto al piano primo, lasciando in contatto diretto la strada e le attività commerciali, mentre lungo il confine ovest la funzione residenziale è costante per tutto l'alzato fuori terra.

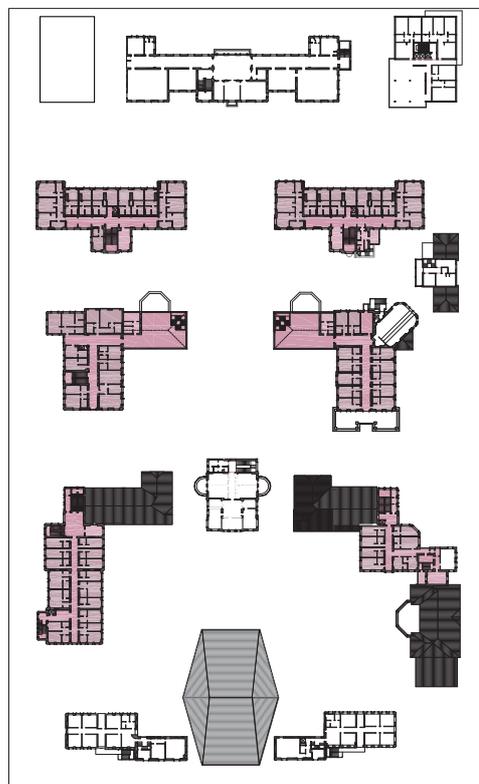
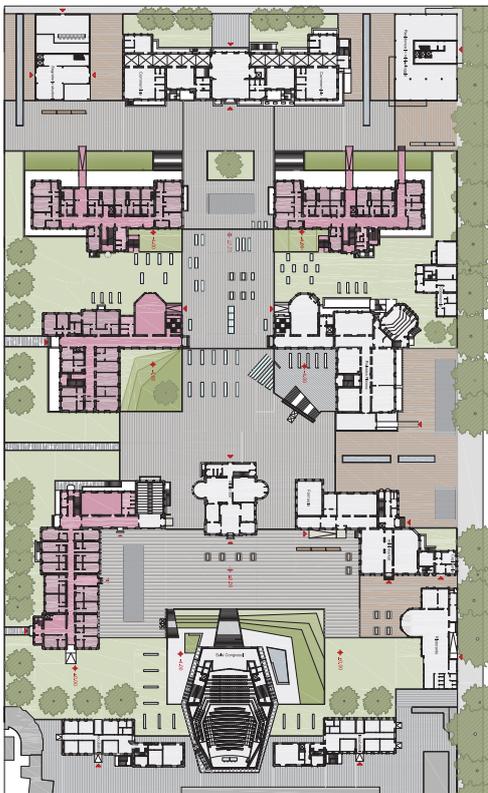


Fig. 13.1. e fig. 13.2.
- Residenza per studenti: evidenziata in colore viola.

A sinistra: piano terra.
(Cfr. Tav. 079)

A destra: piano primo.
(Cfr. Tav. 080)

A ogni piano diverse tipologie di stanza garantiscono l'eterogeneità dell'offerta, passando dall'alloggio ad albergo, quasi del tutto dipendente dagli spazi collettivi generali, ai mini-alloggi in duplex.



Fig. 13.3. - Diverse tipologie di alloggi:
- stanze ad albergo: numeri 1 e 8;
- stanze duplex: numeri 2, 3, 4, 5, 6 e 7.
(Cfr. Tav. 092)



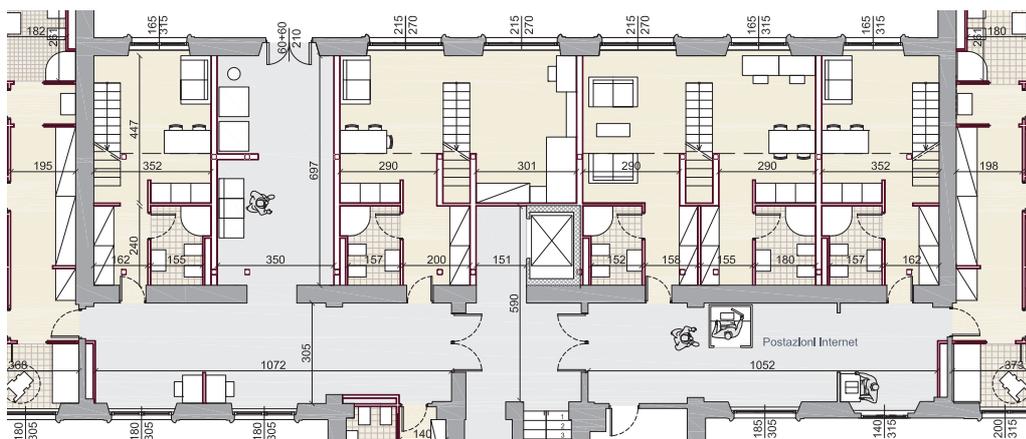
IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Fig. 13.4. - Il corridoio come luogo della socialità: vista delle postazioni internet.



Il corridoio è il luogo del percorso ma, grazie alla sua larghezza ed esposizione a sud, diviene un servizio di prossimità per tutti gli occupanti grazie all'inserimento di scrivanie per lo studio, postazioni pc e internet. Si trasforma in questo modo in uno spazio del vivere: la sua funzione non è declinata a mero passaggio per la distribuzione delle camere. È un luogo accessibile a 360°, anche per utenze con ridotta capacità motoria.

Fig. 13.5. - Il corridoio come luogo della socialità: pianta piano terra. (cfr. Tav. 092)



L'intervento sugli interni viene dichiarato attraverso il differente linguaggio della copertura, dove il mantenimento generale della sagoma è al contempo rivisto dal nuovo sistema a portali che copre la parte centrale degli edifici 2 e 3. Le capriate lignee esistenti costituiscono un ostacolo nel recupero degli spazi del sottotetto a favore della residenza: se ne prevede quindi la sostituzione con strutture sagomate in acciaio che dal muro perimetrale del fronte nord definiscono il volume fino al muro di spina.

Fig. 13.6. - Vista dell'edificio numero 3. (Cfr. Tav. 095)





Il profilo a due falde è ricostruito dagli elementi a brise-soleil che ombreggiano quel luogo freddo che è la terrazza distributiva da dove si accede ai duplex del primo piano. Anche nelle parti di tetto ove la struttura portante rimane inalterata è prevista la sostituzione del manto in tegole marsigliesi a favore del nuovo rivestimento con lastre in rame ossidato e listelli in cotto soprastanti. L'uso del cotto diventa elemento di continuità materica con il preesistente, dichiarando una uniformità con gli altri edifici dell'isolato ma, al tempo stesso, smarcandosi da essi e attualizzandosi nel repertorio linguistico e tecnologico.

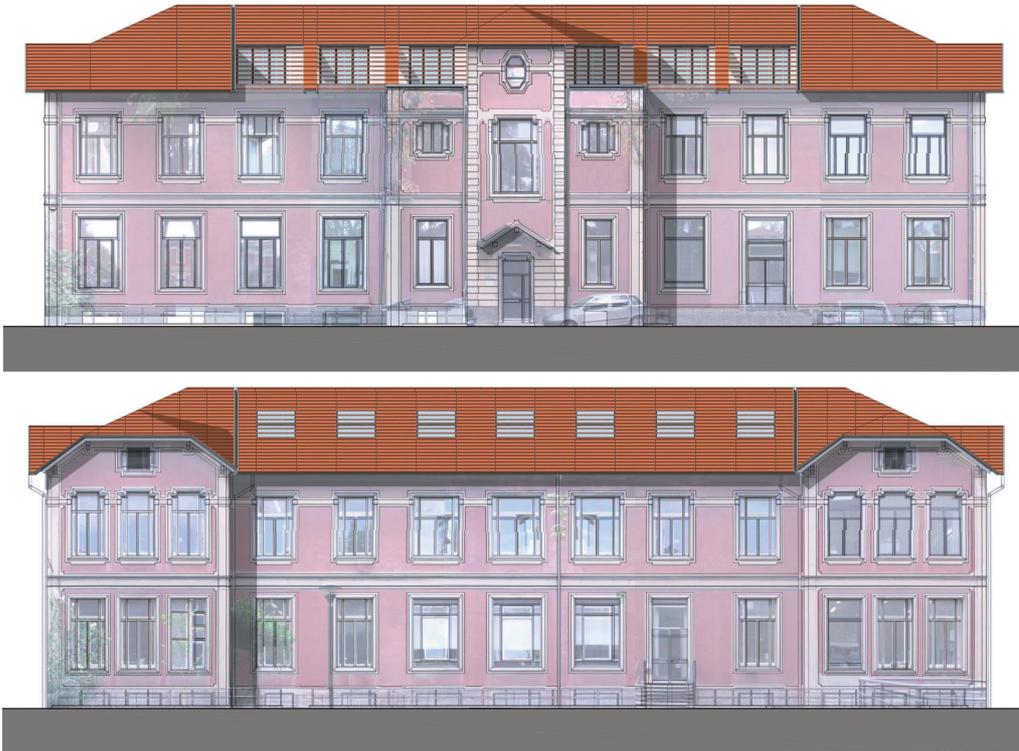


Fig. 13.7. e fig. 13.8. - Il progetto della nuova copertura: lastre in rame ossidato tipo "Tecu oxid" ed elementi in cotto tipo "Autan Terreal".

In alto: prospetto sud;
In basso: prospetto nord.
(cfr. Tav. 094)

13.1. I diversi modi di vivere la stanza

Il progetto funzionale ha conferito un valore di centralità allo studio delle tipologie residenziali per studenti. La flessibilità progettuale si attua «attraverso la predisposizione di una serie di alloggi di diverso taglio, corrispondenti alle ipotizzabili esigenze dei futuri utenti [...]».¹

La prima macrodivisione tipologica consiste nella creazione di alloggi organizzati in planimetria su un unico livello accessibile e di alloggi in duplex. Il primo tipo, posto nelle ali laterali degli edifici 2 e 3, non lavora programmaticamente in sezione. Il modello è quello ad albergo: la stanza è per 2 persone con un bagno privato o di comune pertinenza. Qui l'attenzione è rivolta soprattutto, a livello spaziale e dimensionale, alla possibilità di accogliere anche studenti portatori di handicap, calibrando lo spazio, anche a livello di arredo, per una agevole fruizione con carrozzina.



Fig. 13.9. - Tipologia di alloggio ad "albergo" accessibile anche da utenti con ridotte minore capacità motorie.
(cfr. Tav. 093)

¹ L. E. MALIGHETTI, *Progettare la flessibilità – Tipologie e tecnologie per la residenza*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 2000.



IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Il secondo tipo di alloggio a duplex parte dall'unità minima per 2 occupanti con profondità di 6.60 metri e larghezza sul fronte di affaccio di 3.60 metri, ma prevede possibili aggregazioni nel caso di un numero superiore di occupanti. Le altezze dei piani di impalcato esistenti vengono ridefinite dalla presenza degli ammezzati. L'alloggio non è più composto dalla sola stanza da letto, ma si confronta con il tema, già caro al Movimento Moderno, dell'unità minima². L'accesso avviene sempre attraverso la zona giorno, comprensiva di angolo cottura e spazio soggiorno, per poi salire o scendere nella zona notte. I servizi igienici occupano la parte più interna, addossandosi al muro di spina centrale dell'edificio e non hanno alcun rapporto con l'esterno. Questa molteplice varietà nell'offerta è così in grado di adattarsi a plurime esigenze e crea una differenziazione tra le proposte di alloggio

Fig. 13.10. - Tipologie mini-alloggio duplex: sezione. (cfr. Tav. 091)

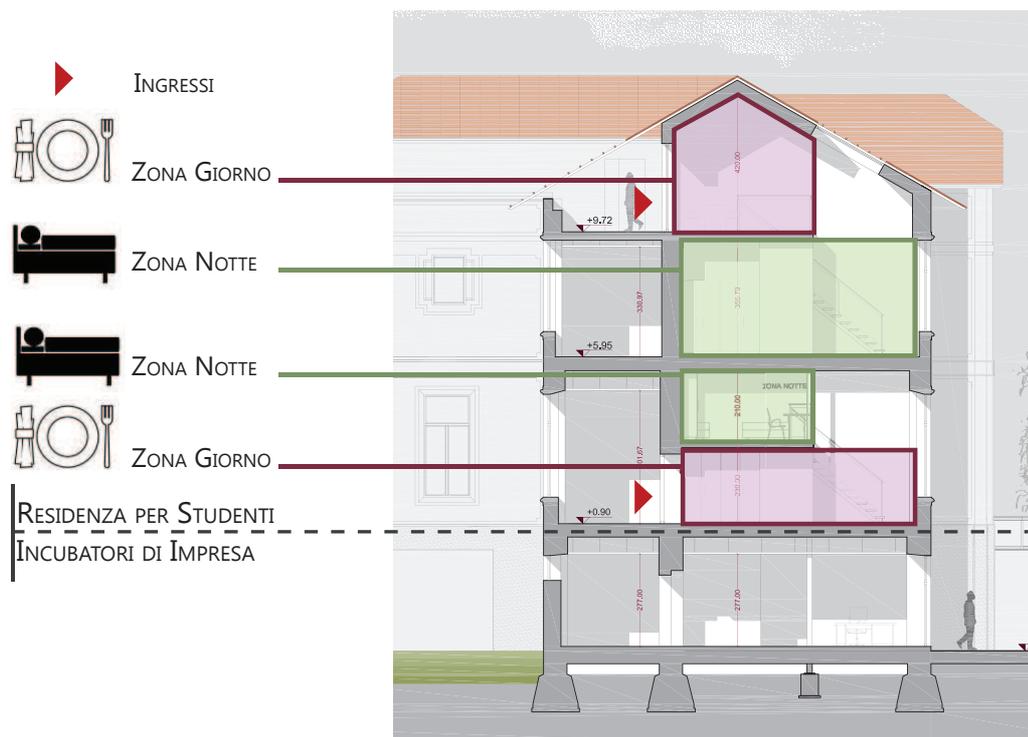
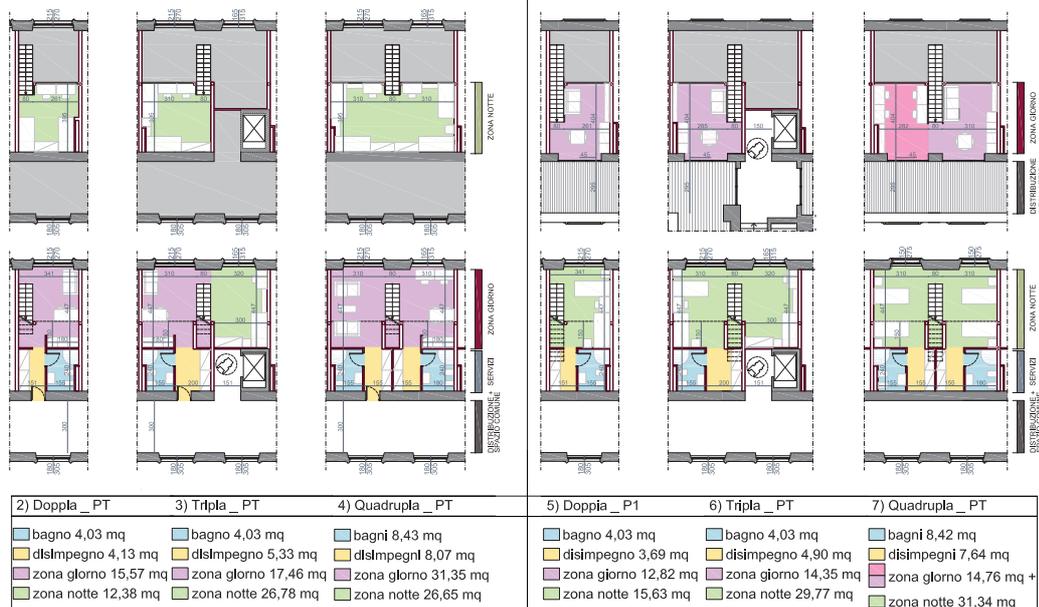


Fig. 13.11. - Tipologie piante e caratteristiche spaziali. (Cfr. Tav. 093)





13.1.1. Riferimenti progettuali

Sono stati individuati dei casi studio che riguardano alcune architetture o spazi aperti che si ritiene concretizzino al meglio i caratteri progettuali e le logiche compositive nell'intervento di riqualificazione dell'area di Veterinaria. Tali esempi sono stati validi e utili suggerimenti per gli aspetti formali, distributivi e materici dell'intero intervento.

□ *Lo spazio aperto*

La simmetria dell'isolato viene falsata dalla collocazione di lucernari che indicano la presenza di spazi ex-novo posti ipogeo secondo in principio di *intrusione-estrusione*. Tali elementi si palesano talvolta come tagli nella pavimentazione, ma diventano, in altri casi, elementi di arredo urbano. Ecco alcune suggestioni progettuali:



Fig. 13.12. - A sinistra: RRS-STUDIO, piazza XX Settembre, Modena, 2008.

Fig. 13.13. - A destra: R. LANDSCHAFTSARCHITEKTEN, piazza R. Wagner, Norimberga, 2008. (Cfr. Tav. 084)

□ *Logica compositiva per gli edifici 2 e 3*

L'intervento per il sottotetto degli edifici 2 e 3 segue il principio del mantenimento generale della sagoma, la quale dichiara la sua modernità attraverso un differente linguaggio. Viene utilizzato cotto in continuità materica con le preesistenze e in uniformità con gli altri edifici dell'isolato, ma viene adottato un repertorio linguistico e tecnologico marcatamente differente. Uno spunto progettuale può essere dato dall'intervento di sopraelevazione a Vienna qui esposto:

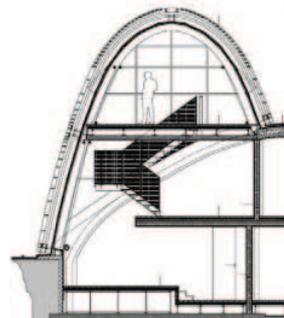


Fig. 13.14., fig. 13.15. e fig. 13.16. - SILBERPFEIL-ARCHITEKTEN, sopraelevazione WZW, Vienna, 2004.

□ *La residenza studentesca*

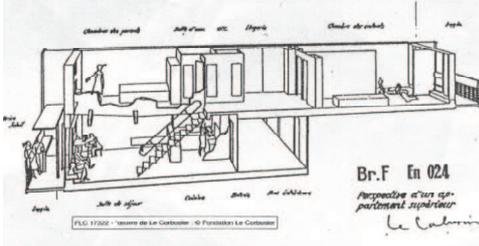
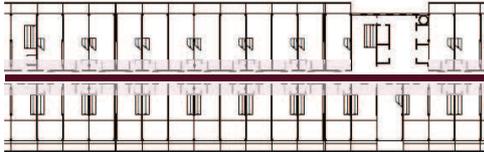
Per quanto riguarda i modelli organizzativi delle *residenze studentesche*, le quali possono essere classificate secondo due diverse categorie, sono stati presi in considerazione alcuni esempi che chiarificano gli aspetti tipologici scelti nel progetto, ossia:

- la stanza **duplex** (cfr. Rif. 01);
- la tipologia ad **albergo**, impostata su corridoi (talvolta anche su ballatoi) i sui quali si affacciano camere singole, doppie o triple con bagno di pertinenza (cfr Rif. 02);
- la tipologia a **mini-alloggio**, con la sistemazione degli studenti in appartamenti autonomi di piccole dimensioni (cfr. Rif. 03).

Di seguito vengono riportate schede di riferimento in cui vengono riepilogati i caratteri di tre architetture che incarnano gli aspetti tipologici sopra elencati.

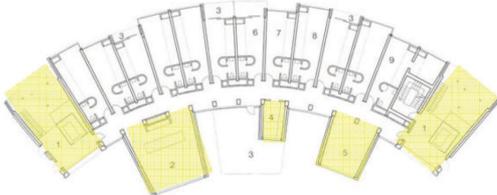
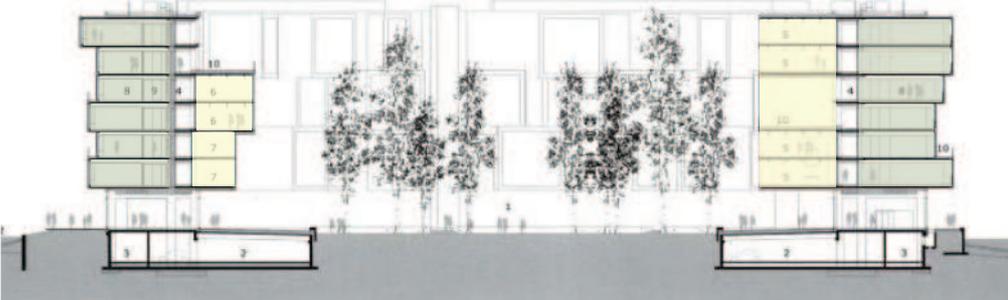


Scheda n. 1 - Le
CORBUSIER, Unité
d'Habitation,
Marsiglia, 1947-1952.

| CASI STUDIO | | Rif. 01 |
|--|--|--|
|  | DATI GENERALI | |
| | <p><i>Oggetto</i> Unité d'Habitation <i>Progettista</i> Le Corbusier <i>Luogo</i> Marsiglia, Francia <i>Data</i> 1947-1952</p> | |
| | SPECIFICHE DI PROGETTO | |
| | <p><i>Numero utenti</i> 1500 persone <i>Morfologia</i> Edificio in linea <i>Tipologia</i> Alloggi autonomi <i>Alloggi</i> Duplex <i>Servizi</i> Collettivi in alcuni piani</p> | |
| ELEMENTI DI RIFERIMENTO | | DESCRIZIONE DEL PROGETTO |
| <p>Spunto progettuale è la tipologia di alloggio <i>duplex</i>: l'accesso all'unità abitativa avviene sempre tramite la zona giorno, per poi salire o scendere nella zona notte a seconda dei livelli. Il corridoio distributivo per questa tipologia di alloggi si dispone dunque a piani alterni.</p>  <p>Gli spazi collettivi sono posizionati in ipogeo: hanno quindi una collocazione specifica, così come nell'Unité si possono trovare piani con funzioni non prettamente residenziali.</p> <p>I servizi sono a ridosso della zona di distribuzione, nella parte più buia del piano.</p>  <p>— servizi — corridoio</p> | | <p>L'Unité d'Habitation rappresenta uno dei punti fondamentali di arrivo del Movimento Moderno nel concepire l'architettura e l'urbanistica. Alta 17 piani, è composta da una successione di 337 appartamenti in serie e poi assemblati.</p> <p>Ogni unità abitativa è di tipo "duplex", cioè disposta su due livelli diversi accessibili mediante una scala interna. Gli ingressi sono collocati lungo una <i>rue corridor</i> situata ogni due piani.</p>  <p>Al settimo e ottavo piano sono presenti una parte dei servizi generali necessari alla popolazione (asilo nido, negozi, lavanderia, ristorante, ecc.), in modo da eliminare la cesura tra il singolo edificio e la città.</p> |
| NOTE | | |
| <p>Questo esempio incarna la logica distributiva con cui si è affrontata la disposizione delle camere <i>duplex</i> degli edifici 2 e 3.</p> | | |

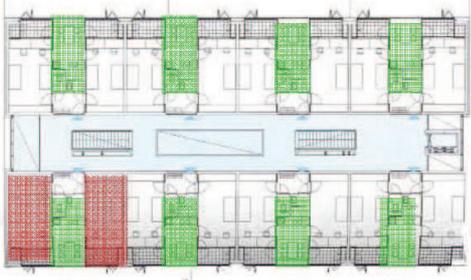


Scheda n. 2 -
LUNDGAARD &
TRANBERG, Residenza
per studenti
Titgenkollegiet,
Copenaghen, 2007.

| CASI STUDIO | | Rif. 02 | |
|---|---|---|--|
|  | DATI GENERALI | | |
| | <i>Oggetto</i> <i>Progettista</i> <i>Luogo</i> <i>Data</i> | Residenza per studenti Lundgaard & Tranberg Copenaghen, Danimarca 2007 | |
| | SPECIFICHE DI PROGETTO | | |
| | <i>Numero utenti</i> <i>Morfologia</i> <i>Tipologia</i> <i>Alloggi</i> <i>Servizi</i> | 360 alloggi Edificio ad anello Alloggi ad albergo Camere Semi-pubblici di pertinenza delle camere | |
| ELEMENTI DI RIFERIMENTO | | DESCRIZIONE DEL PROGETTO | |
| <p>Il progetto presenta stanze con tipologia ad albergo prettamente dipendenti dagli spazi semi-pubblici: questi ultimi sono collocati in posizioni ben precise, contrapposti agli spazi della residenza.</p> <p>Il corridoio si trasforma nel luogo della socialità accogliendo luoghi per lo studio e per lo svago.</p> <p>Lo spunto progettuale sta nella netta separazione fisica tra spazi pubblici e privati, i quali si relazionano tra loro solo nella dimensione del vivere.</p> | | <p>Il complesso ospita circa 400 studenti e rappresenta un punto di riferimento nel panorama internazionale per i progetti di questo tipo. Situato nei pressi del polo universitario di Copenaghen, presenta una forma circolare in risposta alle esigenze del contesto urbano.</p> <p>L'impianto è finalizzato a facilitare il rapporto sociale, preservando l'esigenza della dimensione privata (ospitata in nello spazio accogliente della camera con tipologia ad albergo), che risulta di dimensioni limitate. La facciata di cellule individuali si contrappone allo spazio collettivo interno e ai percorsi comuni che circondano il giardino.</p> | |
|  | |  | |
| <p> dimensione pubblica dimensione privata </p> | | | |
| NOTE | | | |
| <p>Riferimento progettuale per le camere con tipologia ad <i>albergo</i>.</p> | | | |



Scheda n. 3 - BEVK
 PEROVIĆ ARHITEKTI,
 Residenza per
 studenti, Ljubljana,
 2002-2007.

| CASI STUDIO | | Rif. 03 | |
|---|----------------------|--|--|
|  | DATI GENERALI | | |
| | <i>Oggetto</i> | Residenza per studenti | |
| | <i>Progettista</i> | Bevk Perović Arhitekti | |
| | | <i>Luogo</i> | Ljubljana, Slovenia |
| | | <i>Data</i> | 2002-2007 |
| | | SPECIFICHE DI PROGETTO | |
| | | <i>Numero utenti</i> | 56 unità abitative |
| | | <i>Morfologia</i> | Edificio a blocco |
| | | <i>Tipologia</i> | Alloggi autonomi |
| | | <i>Alloggi</i> | Simplex |
| | | <i>Servizi</i> | Servizi comuni e di studio nel piano terra trasparente |
| ELEMENTI DI RIFERIMENTO | | DESCRIZIONE DEL PROGETTO | |
| <p>L'idea di creare mini-alloggi autosufficienti, così da aumentare e mettere a disposizione degli studenti una certa variazione nell'offerta abitativa, risulta un elemento di arricchimento per il progetto in esame.</p> <p>E' stato scelto questo edificio come riferimento progettuale come spunto per la realizzazione di tipologie di residenze per l'area di Veterinaria che avessero una zona giorno comune a più studenti (fino a quattro).</p> <p>Gli spazi comuni sono demandati qui al piano terra, nel progetto allo spazio ipogeo.</p> <p>Viene creato uno spazio verde attrezzato, utilizzabile da una vasta utenza: la collocazione di arredo urbano rende più vivibile queste zone.</p> | | <p>Edificio di tre piani adibiti ad alloggio più un piano terra per gli spazi collettivi.</p> <p>Le camere doppie condividono sia i servizi igienici, sia una zona giorno-studio comune a 4 studenti. La zona giorno è provvista di angolo cottura.</p>   <p>I luoghi della socializzazione sono destinati prevalentemente al di fuori dell'edificio, con spazi verdi attrezzati tramite arredi per esterno.</p> | |
| NOTE | | | |
| | | | |



13.1.2. Standard abitativi minimi

Normativa vigente: *L. 14 novembre 2000 n. 338*

Art 1, comma 4:

“Gli alloggi e le residenze universitarie hanno la finalità di ospitare gli studenti universitari, nonché di offrire agli studenti iscritti alle università servizi di supporto alla didattica e alla ricerca e attività culturali e ricreative. A tale fine [...] sono definiti gli standard minimi qualitativi degli interventi per gli alloggi e le residenze universitarie [...] nonché linee guida relative ai parametri tecnici ed economici per la loro realizzazione. Il decreto prevede parametri differenziati per gli interventi di manutenzione straordinaria, recupero, ristrutturazione e per gli interventi di nuova costruzione, al fine di assicurare la tutela dei valori architettonici degli edifici esistenti [...]”

Normativa vigente: *D.M. 9-5-2001, n. 116*

Art 3, comma 1:

“Sono ammissibili:

1. I seguenti interventi su immobili già esistenti, adibiti o da adibire ad alloggi o residenze per studenti universitari: abbattimento delle barriere architettoniche; adeguamento alle vigenti disposizioni in materia di igiene e sicurezza, manutenzione straordinaria, recupero, ristrutturazione edilizia e urbanistica, restauro, risanamento”.

Normativa vigente: *D.M. 9-5-2002 n. 118*

Allegato A “Standard minimi”:

Finalità

“La realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari deve garantire allo studente le necessarie condizioni di permanenza nella città sede di università, tali da agevolare la frequenza degli studi e il conseguimento del titolo di studio, sia per quanto attiene alle funzioni residenziali e alle funzioni di supporto correlate, sia per quanto attiene alle funzioni di supporto alla didattica e alla ricerca e alle funzioni culturali e ricreative. Il servizio abitativo inoltre deve favorire l’integrazione sociale e culturale degli studenti nella vita cittadina.”

Gli utenti

“Le residenze per studenti devono rispondere alle esigenze degli utenti: studenti residenti, personale di gestione. Devono consentire inoltre, anche agli studenti che gravitano nello specifico bacino d’utenza, di usufruire e condividere i servizi culturali, didattici e ricreativi offerti dalla struttura. Tra gli studenti residenti sono identificabili due categorie: studenti capaci e meritevoli privi di mezzi, studenti non beneficiari di assegni e borse di studio o studenti nell’ambito dei progetti di mobilità ed interscambio.”

Funzioni

“Nelle residenze per studenti deve essere garantita la compresenza delle funzioni residenziali e dei servizi correlati, in modo tale che siano ottemperate entrambe le esigenze di individualità e socialità.”

Standard abitativi:

L’ambito spaziale di uso individuale è costituito dalla **stanza** ove l’utente svolge la maggior parte delle funzioni per soddisfare le necessità primarie del vivere quotidiano e il bisogno di socialità. Ambito adibito alla cura del corpo è il **bagno**: si colloca nella camera singola o doppia, o a uso collettivo di due unità per un numero di utenti non superiore a tre. Ambiente dotato delle adeguate attrezzature, di aerazione naturale o forzata in relazione alla struttura ricettiva.

CAMERA

Standard minimi per persone:

9 m² per studente

Standard minimi per funzione:

18 m² modulo doppio (ogni 2 stud.)

12 m² modulo singolo (ogni stud.)



BAGNO

Standard minimi per persone:

2 m² per studente

Standard minimi per funzione:

3 m² modulo standard (ogni 1-3 stud.)

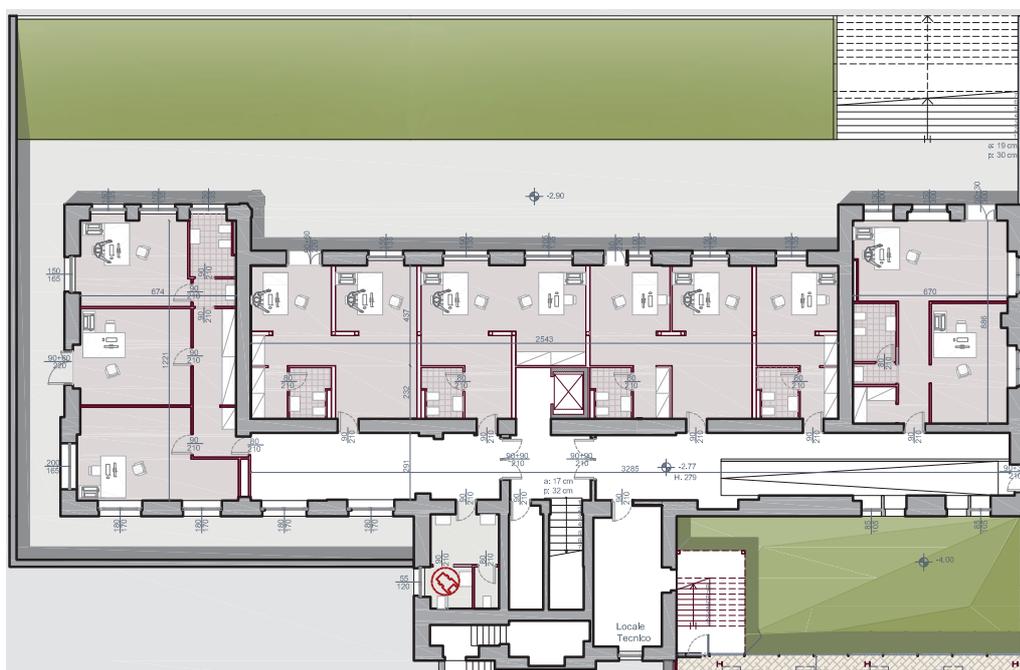




13.2. Mix funzionale e sociale: gli incubatori di impresa

L'ampliamento dei cavedi esistenti valorizza le potenzialità del piano seminterato, che è ora assimilabile a un nuovo livello zero per gli edifici centrali dell'isolato. Una sorta di basamento pubblico che, nell'impossibilità normativa di contenere la residenza, si propone di accogliere gli incubatori di impresa. Si è preso in considerazione un target d'età degli occupanti vicina a quella degli studenti universitari, anche valutando la condivisione dei sistemi di risalita e dei servizi collettivi posti in ipogeo. È possibile accedere a questi spazi sia dagli ingressi della residenza per studenti, sia da scale esterne che portano alla quota -2.90 m. Gli utenti possono usufruire degli stessi spazi pubblici della residenza per studenti, andando così a creare un importante mix sociale tra "futuri lavoratori" e "lavoratori in erba".

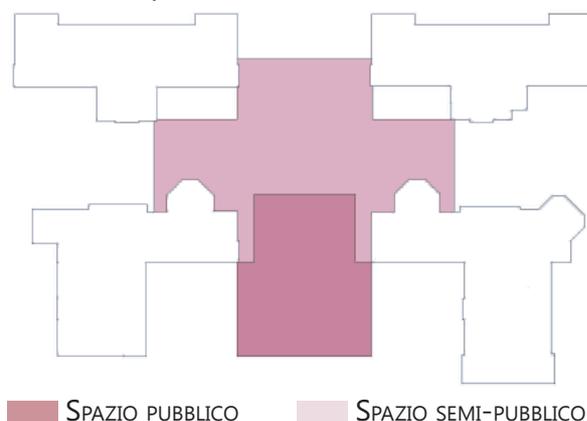
Fig. 13.17. - Pianta degli incubatori di impresa dell'edificio numero 3. (Cfr. Tav. 086)



13.3. La connessione della rete: lo spazio ipogeo

Il sistema a padiglione all'interno dell'isolato di Veterinaria ha reso necessaria la creazione di spazi di collegamento tra i vari edifici per realizzare dei luoghi che ospitassero le funzioni semipubbliche della residenza e altre funzioni pubbliche per l'intero quartiere.

Fig. 13.18. - Macrosuddivisione dello spazio ipogeo: spazi pubblici e semi-pubblici.



Una caratteristica auspicabile in una qualsiasi residenza studentesca è appunto la continuità degli spazi e il collocamento di luoghi di aggregazione e di incontro, ispirandosi a soluzioni ampiamente diffuse in molte città nord-americane. L'organismo che assolve la funzione di connettere gli edifici isolati della residenza è lo spazio ex novo in ipogeo.



Se i percorsi esterni al piano terra sono stati pensati come il luogo della relazione pubblica, anche lo spazio al piano -1 assume in interno tale connotazione, ma con riferimento specifico ai nuovi residenti. Qui si collocano i servizi collettivi a supporto dello studentato quali aule studio, spazi per il gioco e soggiorni di esclusiva fruizione da parte degli studenti e dei dipendenti degli incubatori di impresa.

Tali luoghi sono in grado di garantire, all'interno del complesso, la compresenza dei livelli di individualità e di socialità nella fruizione degli spazi, scopo principale nella progettazione di una residenza per studenti.

Le superfici sono ampie, gli spazi sono organizzati in maniera flessibile (grazie alle pareti realizzate a secco che garantiscono la reversibilità dell'intervento) e le aree risultano adeguate all'alto numero di fruitori: queste ricevono luce dall'alto o dai cavedi realizzati per portare il verde al livello interrato. La presenza di un continuo rapporto visivo con il piano terra - grazie ai lucernai e ai cavedi - permette una maggiore vivibilità di questi luoghi.



Fig. 13.19. - Vista dell'isolato di Veterinaria con lo spazio ipogeo "scoperchiato". (Cfr. Tav. 095)

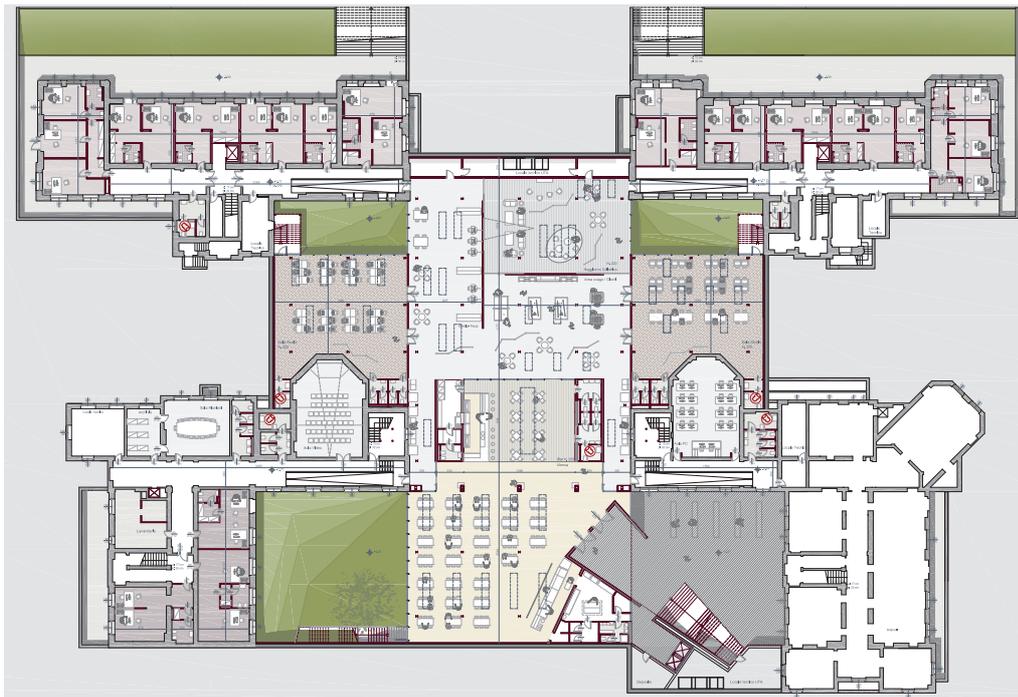
Per il dimensionamento di questi spazi è stata seguita la normativa di riferimento ossia il *Decreto 27 del 7 febbraio 2011*, nel quale è scritto:

Nella progettazione e realizzazione degli interventi di edilizia residenziale studentesca devono essere rispettati i criteri relativi ai seguenti requisiti che si riportano in sintesi [...]:

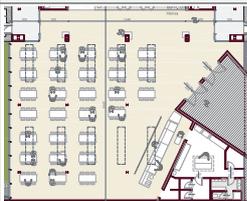
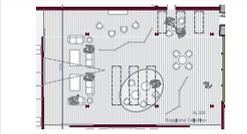
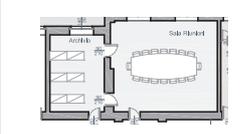
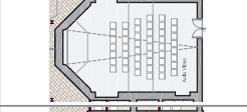
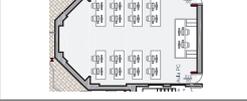
- Compresenza dei livelli di individualità e socialità nella fruizione: la residenza per studenti deve rispondere alla duplice esigenza degli studenti di individualità e socialità attraverso un'adeguata previsione e ripartizione degli spazi a carattere privato e semiprivato, e spazi a carattere collettivo e semicollettivo. Per quanto riguarda i servizi devono essere previsti ambiti collettivi di svolgimento delle attività comuni di tipo socializzante in cui siano presenti i diversi livelli di appropriazione e fruizione dello spazio sia da parte del piccolo gruppo che del gruppo di maggiori dimensioni. Lo spazio di connettivo può essere utilizzato per creare opportunità di incontro e socializzazione.



Fig. 13.20. - Pianta spazio ipogeo, P -1. (Cfr. Tav. 085)



Tab. 13.1. - Dati dimensionali relativi allo spazio ipogeo confrontati con gli standard minimi da normativa.

| D.M. 9-5-2002 n.118 _ Allegato A: STANDARD MINIMI (calcolo su 200 studenti) | | | |
|---|--|-----------------------------|---|
| Pianta | Locale | Sup. minima | Sup. progetto |
|  | Mensa Comprende lo spazio della preparazione dei pasti: rresenza di un servizio mensa-selfservice | 21 mq ogni 10 studenti | 390 mq (39 mq ogni 10 studenti) uso previsto: 50% utenza interna + utenza esterna |
|  | Soggiorno collettivo Ambiente a diretto contatto funzionale con le stanze; opportunamente attrezzato e di superficie adeguata ad ospitare le riunioni conviviali e la socializzazione degli studenti. | 20 mq ogni 20 studenti | 200 mq (20 mq ogni 20 studenti) |
|  | Sale studio Spazi attrezzati nei quali si possono svolgere attività di studio individuale o a piccoli gruppi che, per la necessità di dotazioni speciali, non possono esser svolti nella stanza singola. | 30 mq ogni 40 studenti | 335 mq utili (67 mq ogni 40 studenti) |
|  | Sala riunioni Riservato a di riunioni tra gli utenti che intendono organizzare attività di supporto alla didattica autogestite. Dotato di tavolo per riunioni e sedie adatte a ospitare 10-15 utenti. | 1 ogni 70 studenti di 37 mq | 1 aula di 45 mq + possibile uso aula video |
|  | Media-teca (max 20 postazioni) Deposito di produzioni multimediali. Deve prevedere almeno una postazione connessa a internet per la consultazione dei cataloghi. | 25 mq ogni 40 studenti | 150 mq (30 mq ogni 40 studenti) 16 postazioni |
|  | Sala TV (max 20 postazioni) Sale comuni per la visione collettiva di film, nonchè l'ascolto di musica. Può essere utilizzata per iniziative culturali. | 25 mq ogni 40 studenti | 75 mq + possibile uso soggiorno comune |
|  | Aula internet Costituito da una serie di postazioni attrezzate con computer e dotate di connessione alla rete internet. | 25 mq ogni 40 studenti | 75 mq con 18 postazioni + postazioni corridoi |



| | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------------|---|
| | Sala giochi | <i>50 mq ogni 150 studenti</i> | 100 mq (75 mq ogni 150 studenti) |
| | Altro (mostre temporanee) | / | 140 mq |

Ai servizi di pubblico utilizzo dedicati alla residenza per studenti e incubatori di impresa, si affianca il bar-mensa, accessibile anche dall'esterno tramite uno scalone posto all'ingresso dell'isolato di Veterinaria. Esso offre un servizio pressoché essenziale per gli alloggi ad albergo, ma è prevista, in particolare durante il turno diurno, anche una forte presenza esterna proveniente dall'università e non solo.

La parete di rame segnala l'ingresso con la sua imponenza, unico forte segno che si distacca dalla regolarità e dalla simmetria dell'impianto dell'intero isolato di Veterinaria.



Fig. 13.21. - Vista dell'ingresso alla mensa.

La stretta relazione tra dentro e fuori è rimarcata dal rapporto di intrusione ed estrusione che lega i due livelli: non mancano i momenti di relazione visiva e volumetrica tra le parti, giocata principalmente dalla presenza di tagli nella pavimentazione esterna che portano in interrato la luce. Questi elementi sono dichiarati a volte a raso, altre volte si concretizzano in volumi.

INTRUSIONE-ESTRUSIONE

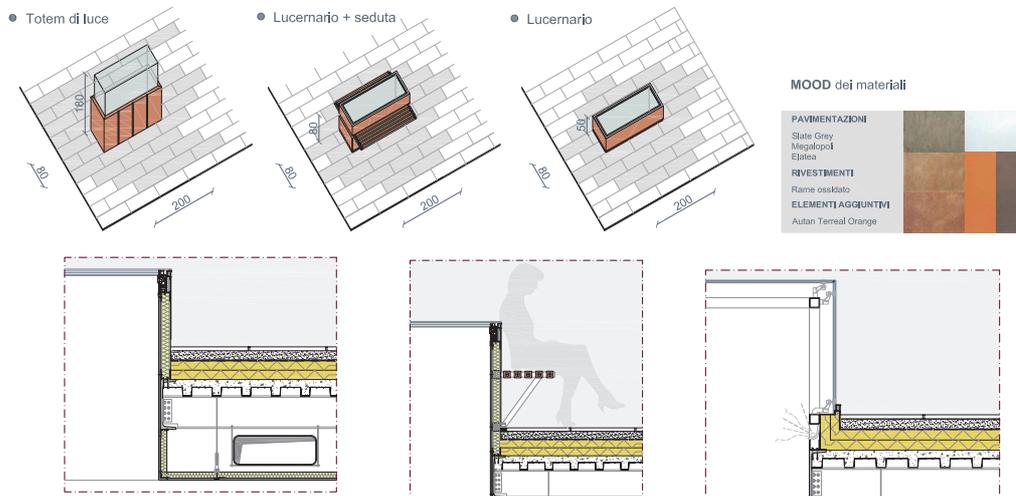


Fig. 13.22. - Abaco delle tipologie di lucernario che dichiarano al PT la presenza dello spazio ipogeo sottostante.



13.4. La complessità del tema progettuale

La sensibilità e il background teorico con il quale il progettista si deve interfacciare è inevitabilmente diverso nel caso del *recupero* sul costruito e delle *nuove realizzazioni*. Questa eterogeneità di filosofie architettoniche arricchisce la proposta finale, creando un compenetrarsi di scelte che non possono prescindere né da ciò che la storia ci ha lasciato, né dallo sviluppo del linguaggio compositivo e delle nuove tecniche costruttive.

Alimentare il dibattito dialettico tra le parti, modulando il registro linguistico caso per caso, si ritiene possa evitare di asservire una delle due polarità ideative rispetto all'altra. Il progettista crea un disegno a tutto tondo, proponendo una sintesi finale a suo avviso coerente e che punti alla massima valorizzazione del tutto. Unire le differenze - e non esaltarle nel singolo - è il futuro sperabile per l'architettura del nuovo millennio.

Fig. 13.23. e fig.
13.24. - Viste
d'insieme.
(Cfr. Tav. 095)





PROSPETTO NORD _ Edifici 2 e 3



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| CaCO-5 R/1-3 ESPONSIONE | CaOP-3 La/1 DEPOSITO ABBONICO | BUPR-1 Ca/2 MATERIA CRONICA | BUPR-1 La/1 SPAZZAMENTO | Bb1-2 Bb1-2 DELAVERMENTO | APR-6 Ma/1 OSSAZIONE | Bb1-2 Bb1-2 MATERIA CRONICA | Bb1-2 Bb1-2 RIPAVAMENTO | Bb1-1 Bb1-1 MATERIA CRONICA | DaEL-4 Pr/2 DEPOSITO SUPPLEMENTO | Bb1-2 Bb1-2 ESPONSIONE | CaM-8 Ma/1 OSSAZIONE | CaCO-5 R/1-3 ESPONSIONE | Bb1-2 Bb1-2 LUCINA | BUPR-1 Ma/1 OSSAZIONE | Bb1-2 Bb1-2 MATERIA CRONICA | BUPR-1 La/1 SPAZZAMENTO | APR-6 Ma/1 OSSAZIONE | CaOP-3 La/1 DEPOSITO ABBONICO | Bb1-2 Bb1-2 RIPAVAMENTO | Bb1-10 Pr/1 ESPONSIONE | Bb1-1 Bb1-1 MATERIA CRONICA | Bb1-9 Bb1-9 MATERIA CRONICA | Bb1-9 Bb1-9 MATERIA CRONICA |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

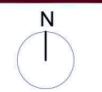
LEGGENDA

Identificazione materia

- Colt. Schede allegata
- Colt. Degrado
- Patologia



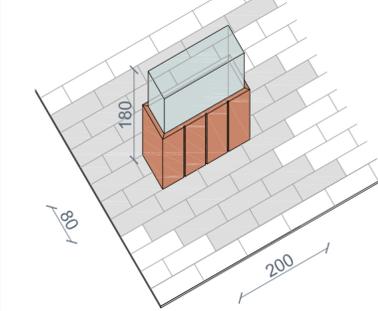
PROSPETTO SUD _ Edifici 2 e 3



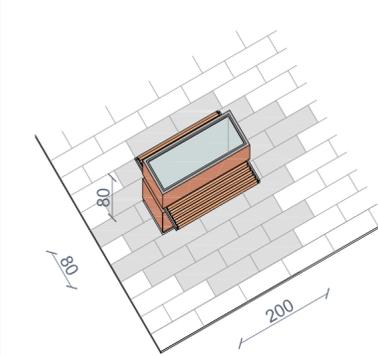


INTRUSIONE-ESTRUSIONE

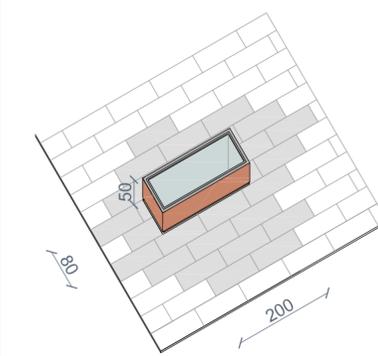
● Totem di luce



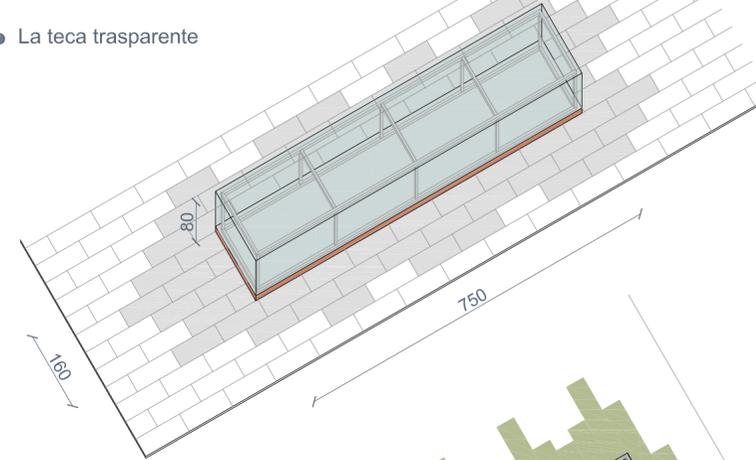
● Lucernario + seduta



● Lucernario



● La teca trasparente



● Lucernari a raso



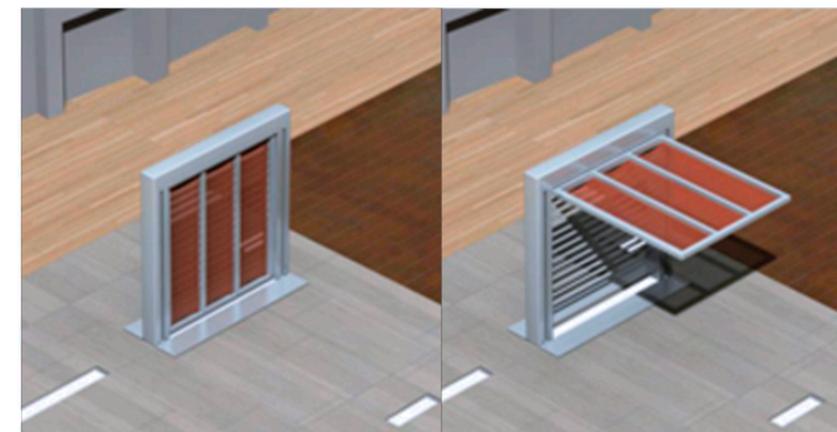
MOOD dei materiali





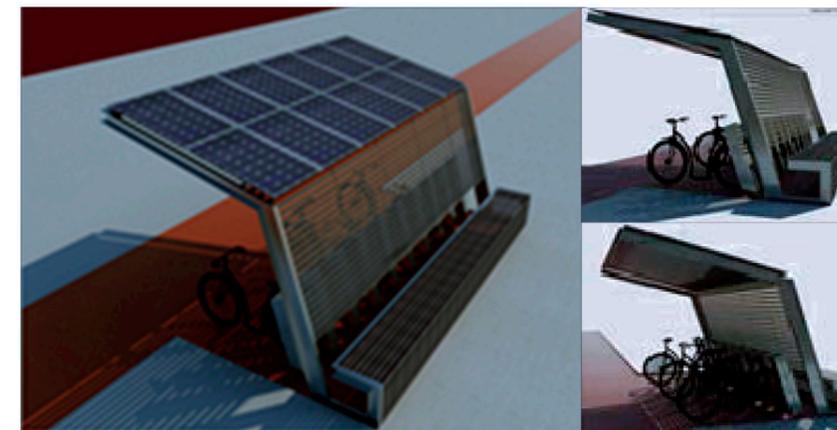
Spazio pubblico continuamente riconfigurabile: tutte le sedute sono infatti delle panchine rotanti incernierate ad una estremità, che gli abitanti possono spostare secondo le proprie esigenze. Un esempio concreto di Architettura 2.0 dove l'utente è attivamente chiamato a modellare lo spazio in funzione delle sue esigenze.

Piazza Risorgimento_Bari
Progettisti: K. Di Tardo, A. Iacovoni,
L. La Torre



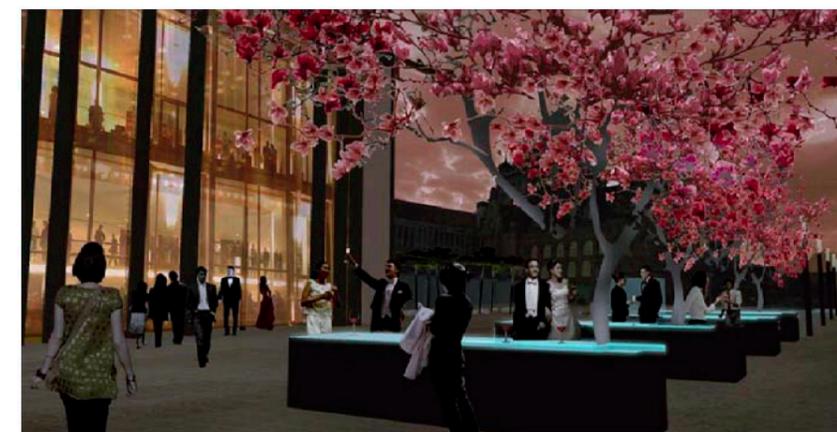
Strutture con movimentazione automatizzata, esse funzionano indipendentemente l'una dall'altra, permettono quindi una configurazione variabile dello spazio oltre garantire luoghi adeguatamente ombreggiati a fronte di tutte le possibili condizioni di soleggiamento.

Piazza XXII Settembre_Modena
Progettisti: rrs-studio



La pensilina per biciclette elettriche integra organicamente anche le sedute per la sosta del pedone. La struttura presenta il maggior livello di innovazione nella copertura in cellule fotovoltaiche, la quale accumula nelle ore diurne energia elettrica che viene impiegata direttamente per ricaricare le batterie delle biciclette durante il periodo di sosta.

Sistemazione lungomare_Terracina
Progettisti: DeonStudio



Lucernari emergenti rispetto al piano di calpestio della piazza, che con la loro disposizione sottolineano l'asse di attraversamento del vuoto. Essi inoltre diventano parte attiva nell'illuminazione notturna e piccoli poli per la socialità serale.

Piazza Richard Wagner_Norimberga
Progettisti: R. Landschaftsarchitekten



D.M. 9-5-2002 n.118 _ Allegato A: STANDARD MINIMI (calcolo su 200 studenti)

N. posti

Aula studio 1 = 48 posti
 Aula studio 2 = 50 posti
 Mensa = 168 posti

Locale

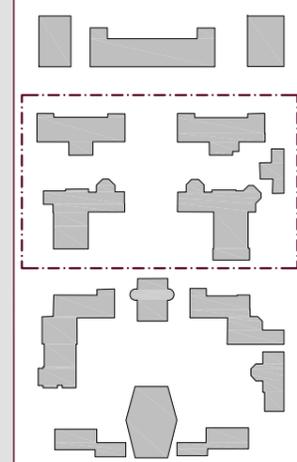
Mensa
 Soggiorno collettivo
 Sala studio
 Sala riunioni
 Biblioteca (max 20 postazioni)
 Sala TV
 Aula internet (max 20 postaz.)
 Sala giochi
 Altro (mostre temporanee)

Sup minima

21mq/10 stud
 20mq/20 stud
 30mq/40 stud
 1770 stud di 37 mq
 25mq/40 stud
 25mq/40 stud
 25mq/40 stud
 50mq/150 stud

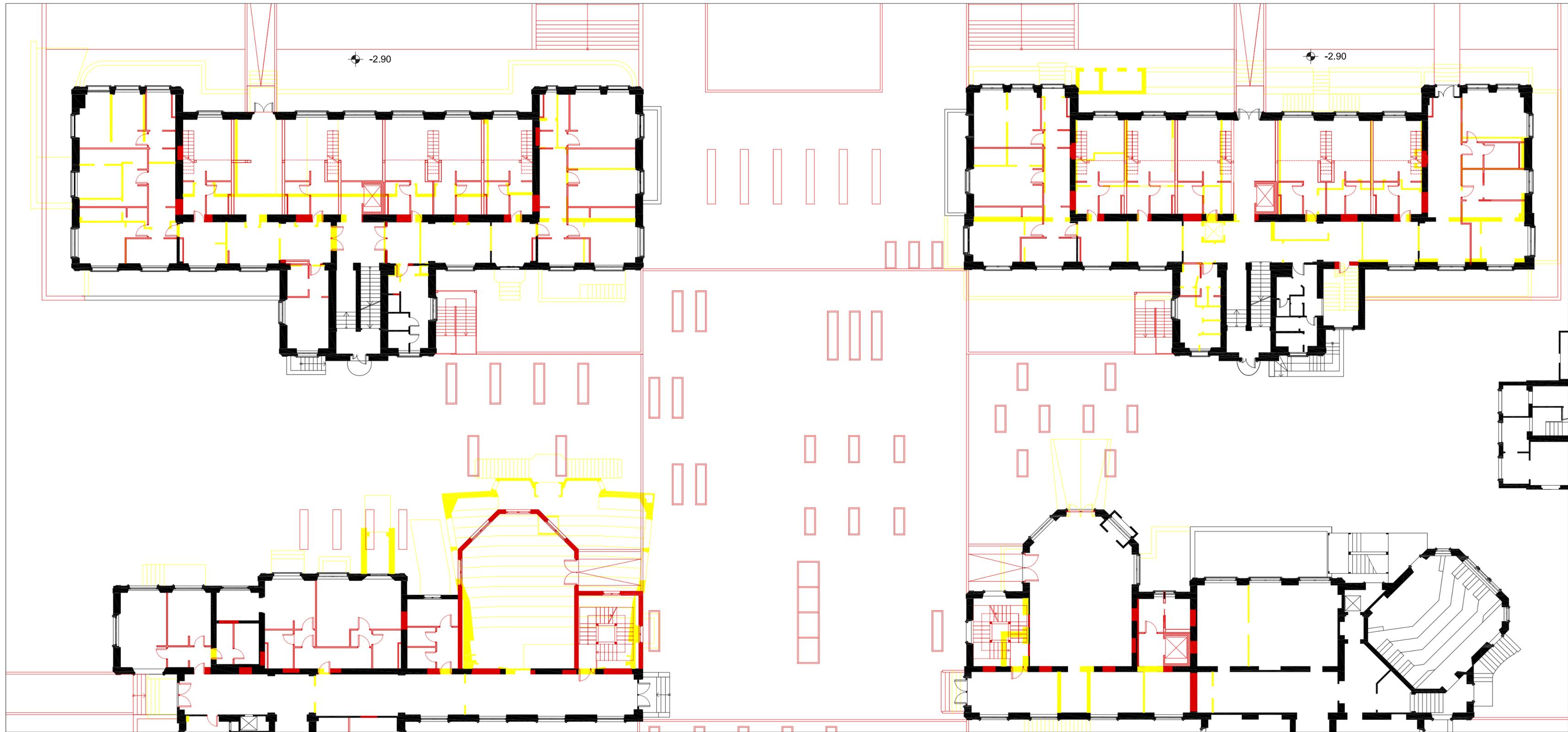
Sup progetto

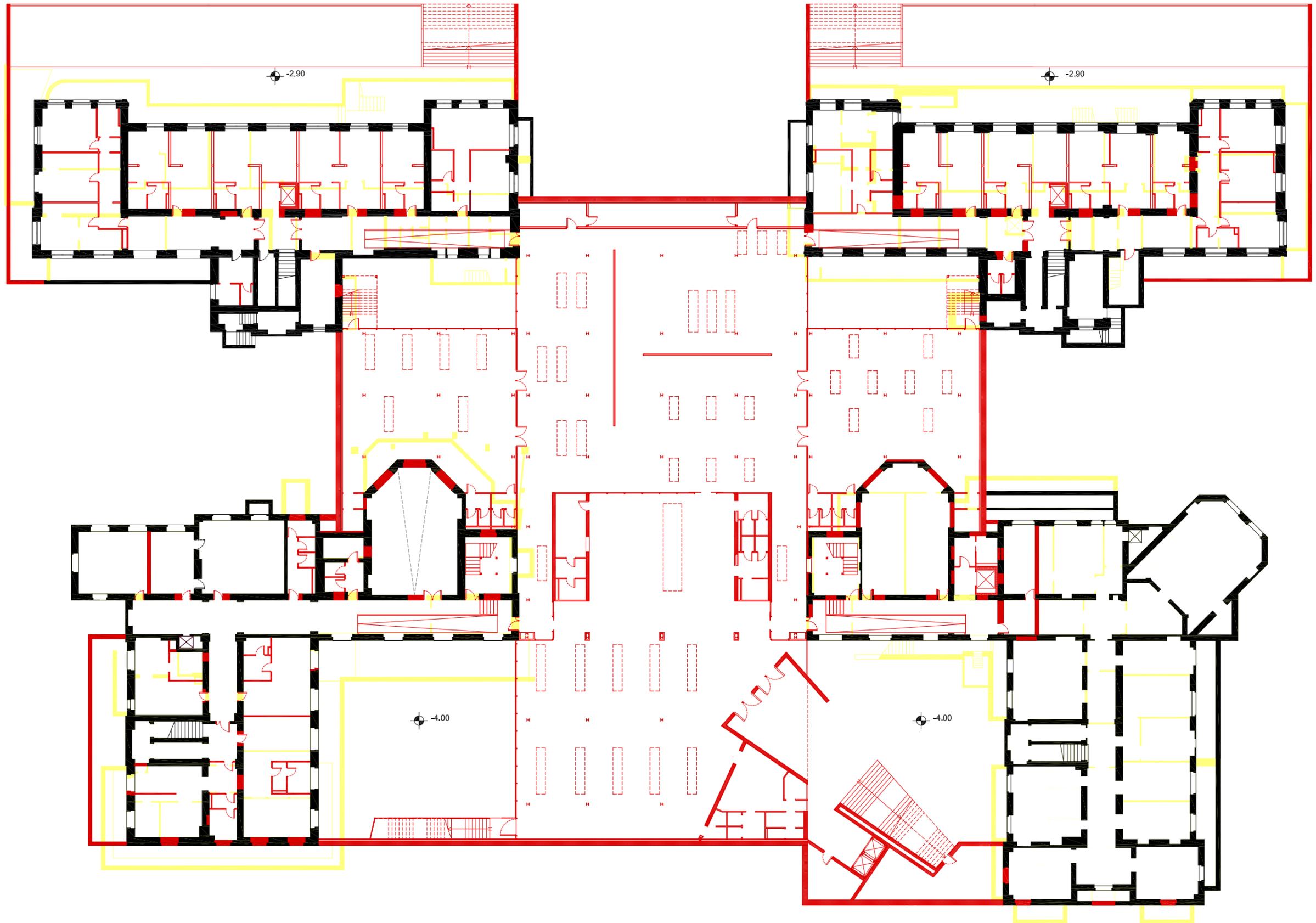
390 mq (39mq/10 stud) uso 50% utenza
 200 mq (20mq/20 stud)
 335 mq utili (67mq/40 stud)
 1 aula di 45mq + possibile uso aula video
 150 mq (30mq/40 stud) con 16 postazioni
 75 mq + possibile uso soggiorno comune
 75 mq con 18 postazioni + postazioni corridoi
 100 mq (75mq/150 stud)
 140 mq





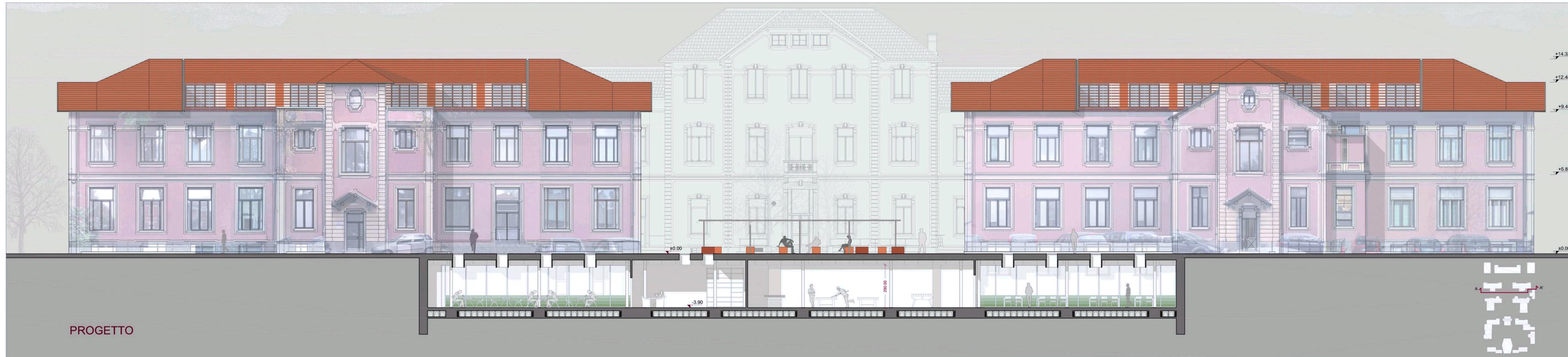




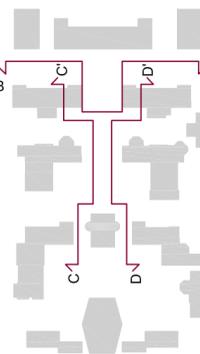
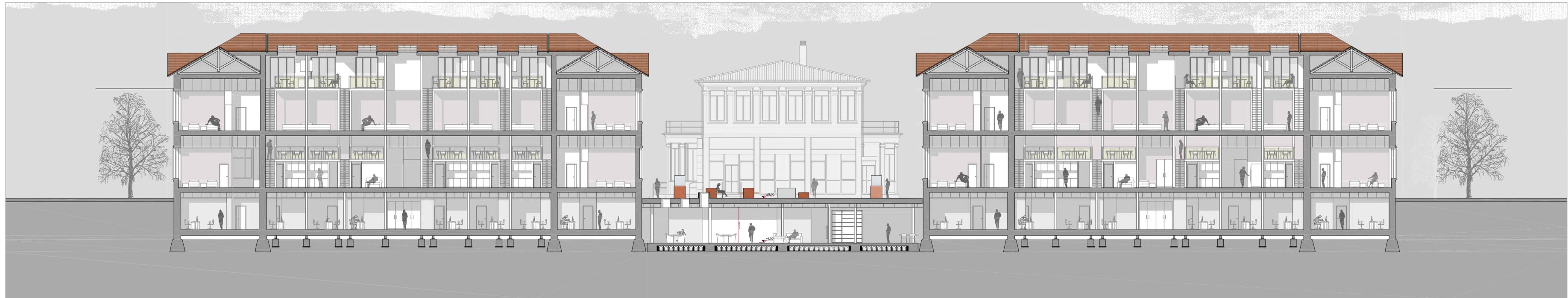




ESISTENTE

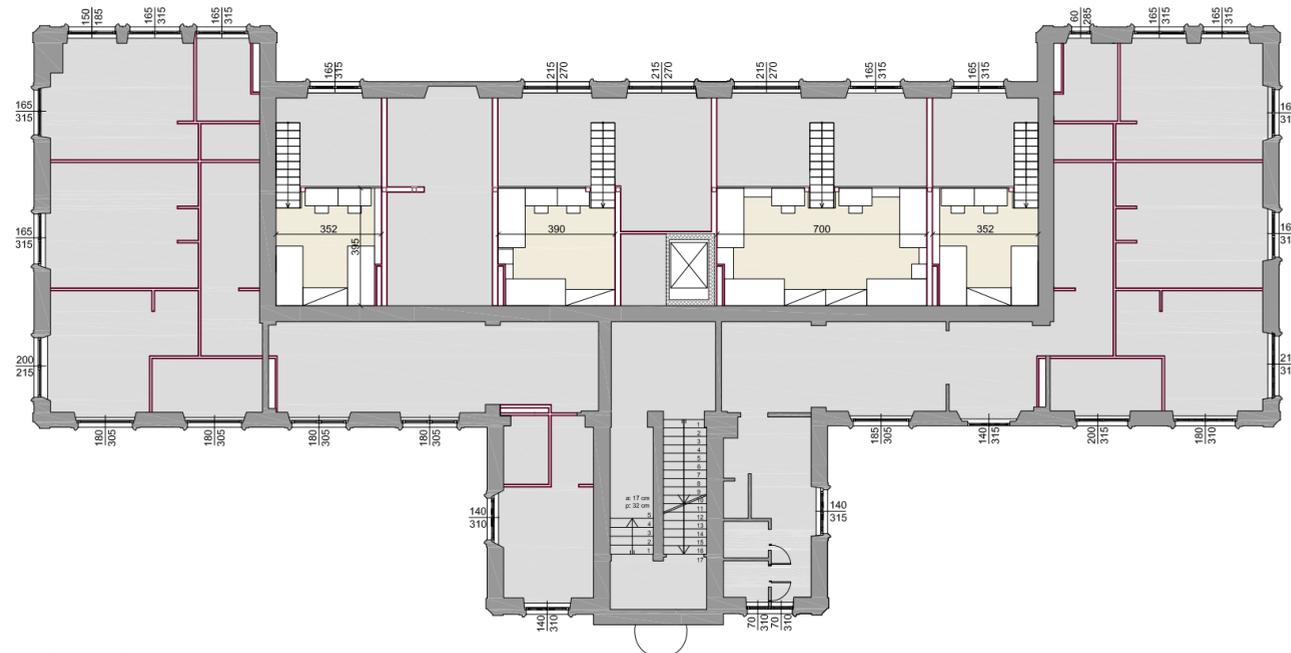


PROGETTO



PIANTE DEI VARI LIVELLI

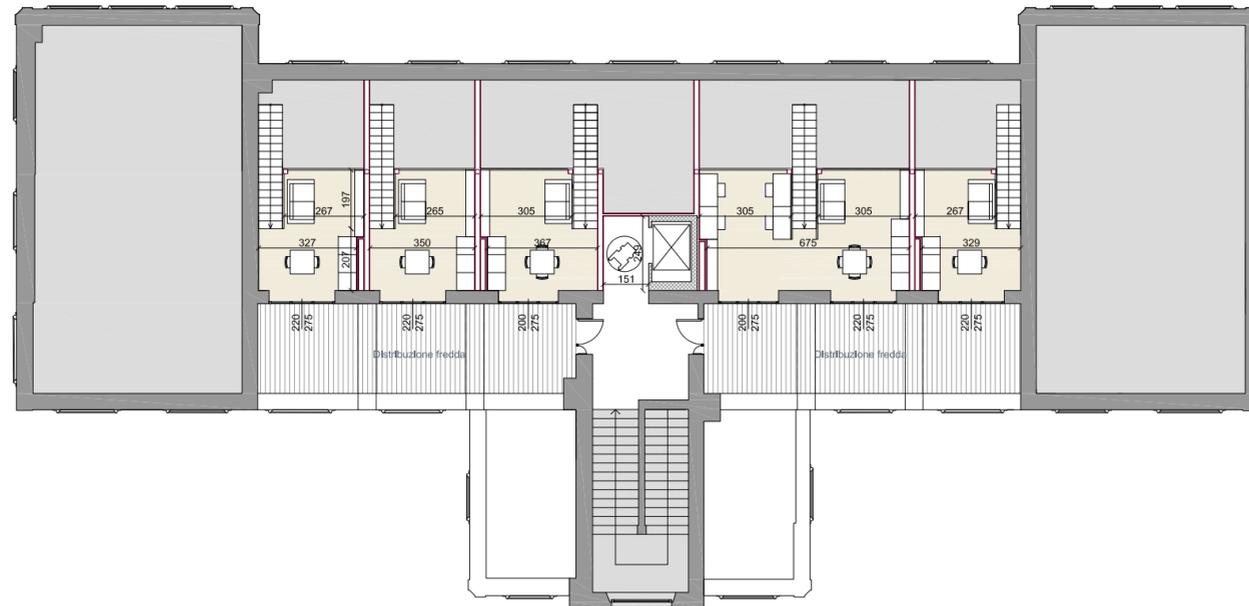
Pianta Soppalco Piano Terra



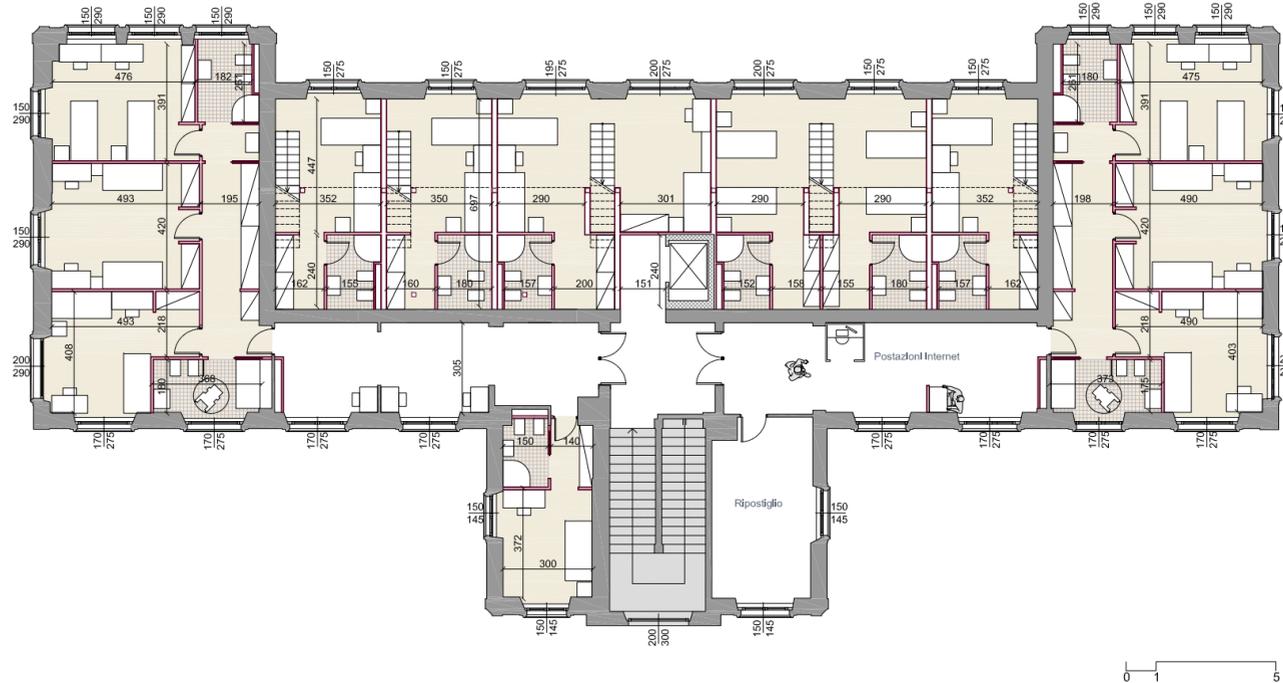
Pianta Piano Terra



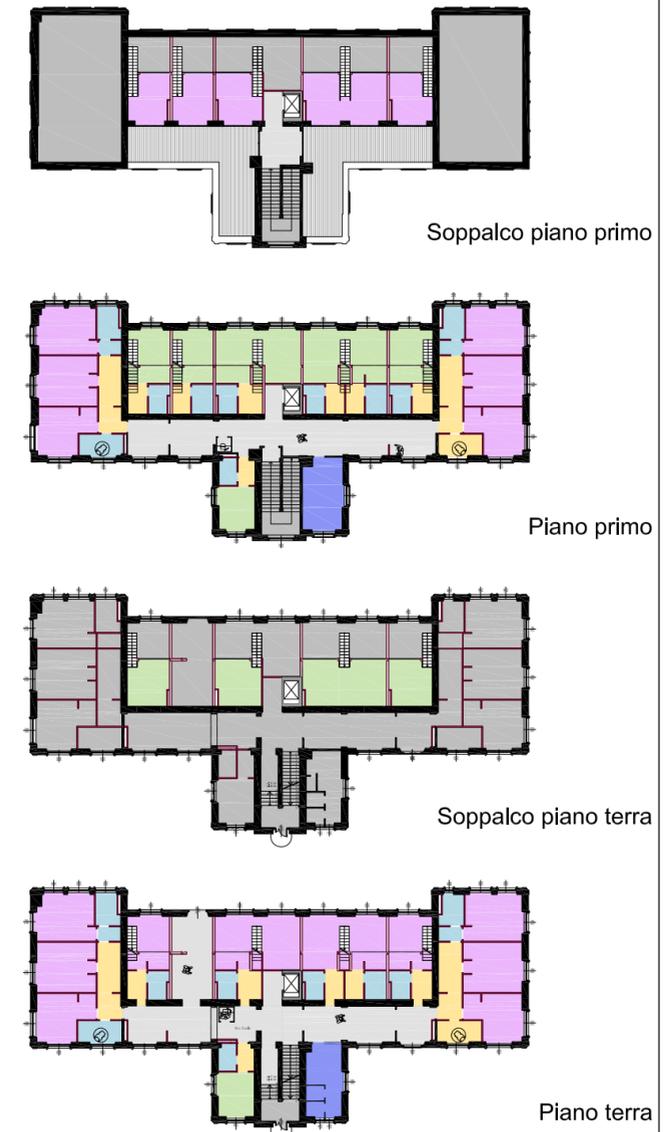
Pianta Soppalco Piano Primo



Pianta Piano Primo



DISTRIBUZIONE _ organigramma scala 1:500

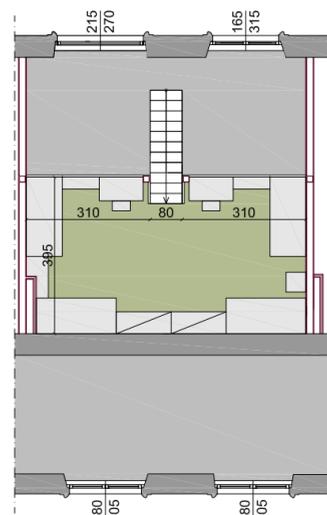
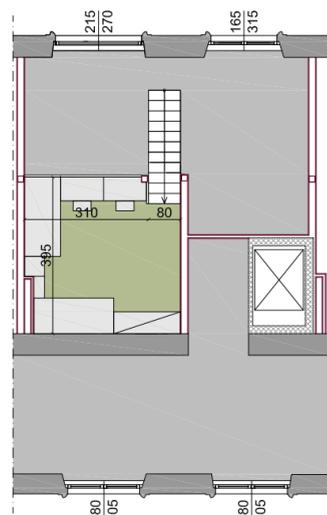
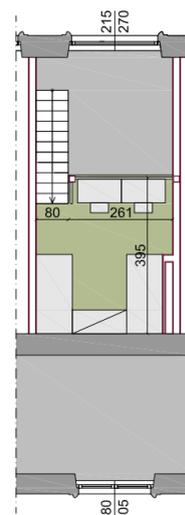
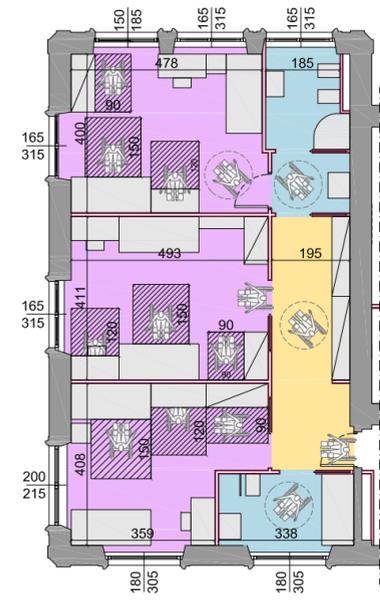
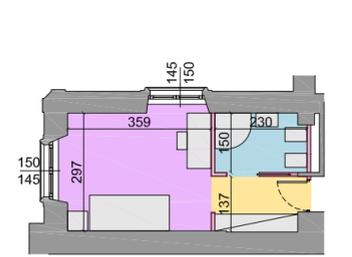


LEGENDA

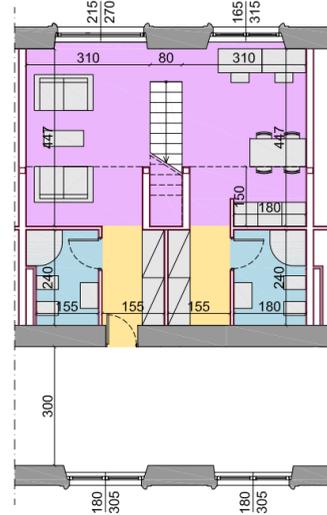
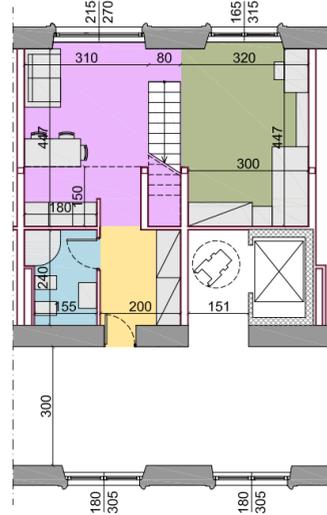
- | | |
|-------------|------------------------------|
| bagni | ballatoio |
| disimpegni | servizi comuni |
| zona giorno | distribuzione / studio-svago |
| zona notte | |



TIPOLOGIE ABITATIVE _ piano terra



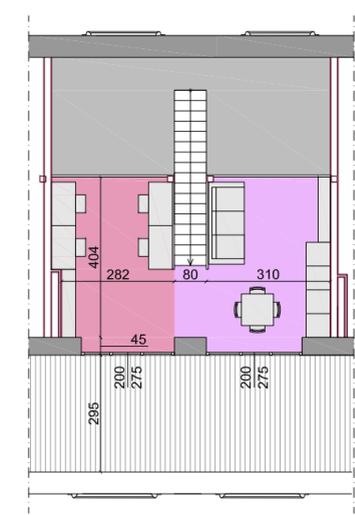
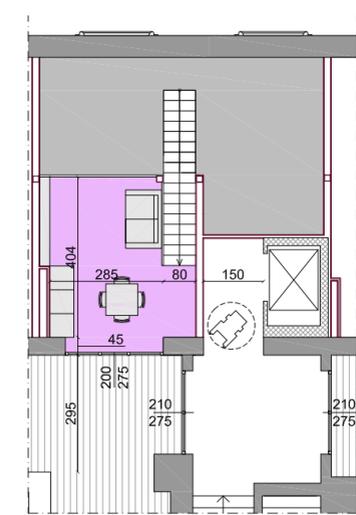
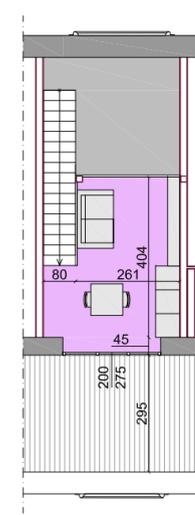
ZONA NOTTE



ZONA GIORNO

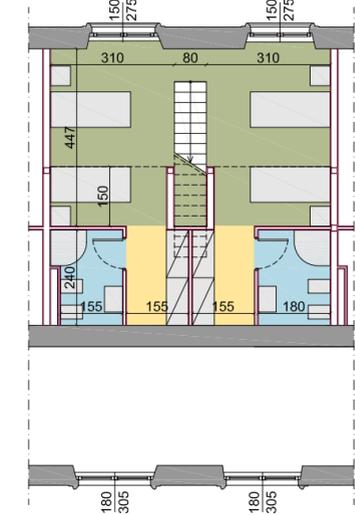
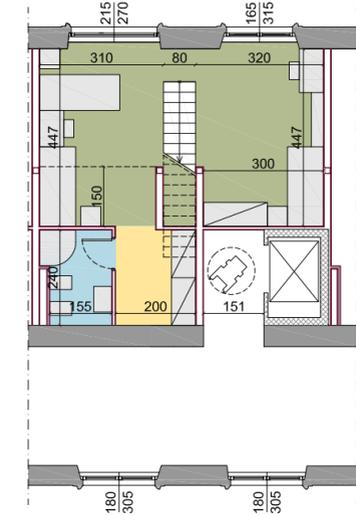
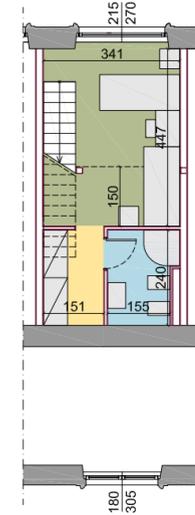
DISTRIBUZIONE + SERVIZI
SPAZIO COMUNE

TIPOLOGIE ABITATIVE _ piano primo



ZONA GIORNO

DISTRIBUZIONE
A BALLATOIO



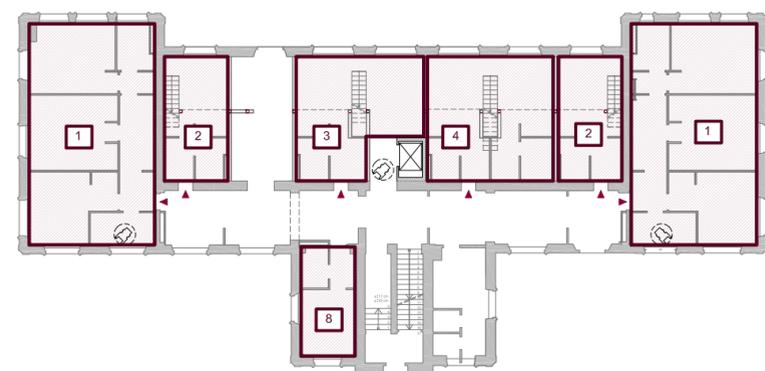
ZONA NOTTE

DISTRIBUZIONE + SERVIZI
SPAZIO COMUNE

Scala 1:150

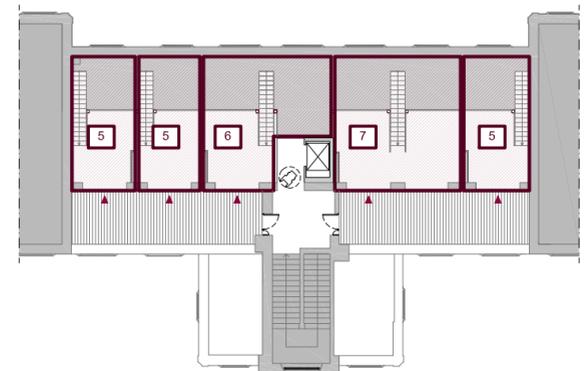
ALLOGGI PER DISABILI

Le camere che non presentano una distribuzione in duplex hanno tutte le caratteristiche dimensionali ed ergonomiche per essere destinate ad ospitare studenti che presentino disabilità motorie, per le altre tipologie si è comunque garantita la visitabilità delle stesse.



PIANO TERRA

- _Tipologia MINI-ALLOGGIO n° 2 - 3 - 4 (11 studenti)
- _Tipologia ALBERGO n° 1 - 8 (13 studenti)



PIANO PRIMO

- _Tipologia MINI-ALLOGGIO n° 5 - 6 - 7 (13 studenti)
- _Tipologia ALBERGO n° 1 - 8 (13 studenti)

| DESTINAZIONI D'USO | |
|--------------------|---|
| 1) Testata _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagno 14,60 mq disimpegno 12,53 mq camere 18,24 mq 20,67 mq 10,57 mq |
| 2) Doppia _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagno 4,03 mq disimpegno 4,13 mq zona giorno 15,57 mq zona notte 12,38 mq |
| 3) Tripla _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagno 4,03 mq disimpegno 5,33 mq zona giorno 17,46 mq zona notte 26,78 mq |
| 4) Quadrupla _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagni 8,43 mq disimpiegni 8,07 mq zona giorno 31,35 mq zona notte 26,65 mq |
| 5) Doppia _ P1 | <ul style="list-style-type: none"> bagno 4,03 mq disimpegno 3,69 mq zona giorno 12,82 mq zona notte 15,63 mq |
| 6) Tripla _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagno 4,03 mq disimpegno 4,90 mq zona giorno 14,35 mq zona notte 29,77 mq |
| 7) Quadrupla _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagni 8,42 mq disimpiegni 7,64 mq zona giorno 14,76 mq + studio 12,75 mq zona notte 31,34 mq |
| 8) Singola _ PT | <ul style="list-style-type: none"> bagno 3,46 mq disimpegno 3,27 mq camera 11,39 mq |

Prospetto sud



Prospetto nord



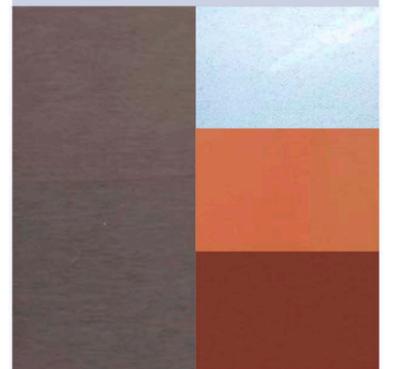
MOOD dei materiali

RIVESTIMENTO COPERTURA
- Lastre in rame ossidato
s=0,5 cm lunghezza max 400 cm

BRISE-SOLEIL
- Elementi oscuranti in cotto Autan

 colore: Violine
finitura: liscia
dimensioni: 5.3x28x5 cm

 colore: Rouge-orangè
finitura: liscia
dimensioni: 5.3x28x5 cm







13.5. Verifiche di progetto

Sottoporre il progetto architettonico a un controllo della congruità e del rispetto dei vincoli normativi è una fase di fondamentale importanza: tali verifiche rappresentano un passaggio ineludibile nella prassi progettuale per l'ottenimento dell'insieme di approvazioni necessarie alla realizzazione.

In particolare, i controlli effettuati riguardano:

- la congruità in rapporto allo standard normativo di prevenzione/protezione in caso d'incendio (verifiche antincendio);
- il rispetto dei criteri igienico-sanitari e di comfort abitativo (verifica dei rapporti aeroilluminanti);
- il rispetto del grado minimo necessario di fruibilità dei manufatti da parte delle diverse tipologie di utenza (verifica dei criteri di accessibilità, visitabilità e adattabilità).

13.5.1. Verifica dei requisiti di sicurezza antincendio

La sicurezza antincendio è orientata alla salvaguardia dell'incolumità delle persone ed alla tutela dei beni e dell'ambiente, mediante il conseguimento dei seguenti obiettivi primari:

1. La riduzione al minimo delle occasioni di incendio.
2. La stabilità delle strutture portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti.
3. La limitata produzione di fuoco e fumi all'interno delle opere e la limitata propagazione del fuoco alle opere vicine.
4. La possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo.
5. La possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezzaⁿ.

Il rischio di incendio, ma più in generale di un qualsiasi evento catastrofico, risulta definito da due fattori:

- 1) la *frequenza*, cioè la probabilità che l'evento si verifichi in un determinato intervallo di tempo;
- 2) la *magnitudo*, cioè l'entità delle possibili perdite e dei danni conseguenti al verificarsi dell'evento; da cui ne deriva la definizione di

$$\text{Rischio} = \text{Frequenza} \cdot \text{Magnitudo}$$

Dalla formula di definizione del rischio di fenomeni d'incendio appare evidente che, quanto più si riducono la *frequenza* o la *magnitudo* (o entrambe), tanto più si ridurrà il rischio.

L'insieme di misure e strategie finalizzate alla riduzione della frequenza viene comunemente chiamata *prevenzione*, mentre l'attuazione di tutte le soluzioni progettuali atte alla riduzione della magnitudo viene chiamata *protezione*.

In generale le misure di protezione antincendio possono essere di tipo *attivo* o *passivo*, a seconda che richiedano o meno l'intervento di un operatore o di un impianto per azionare i dispositivi di attivazione.

La normativa italiana

La normativa italiana cui si fa riferimento è il DM 10 marzo 1998 di cui si riporta uno stralcio:

ⁿ D.lgs. 626/94.



1.4.4. Classificazione del livello di rischio di incendio

Sulla base della valutazione dei rischi è possibile classificare il livello di rischio di incendio dell'intero luogo di lavoro o di ogni parte di esso: tale livello può essere basso, medio o elevato.

A) Luoghi di lavoro a rischio di incendio basso

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

Allegato III

3.3. Criteri generali di sicurezza per le vie di uscita

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

c) [...] la lunghezza del percorso per raggiungere la più vicina uscita di piano non dovrebbe essere superiore ai valori sottoriportati:

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

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

e) i percorsi di uscita in un'unica direzione devono essere evitati per quanto possibile. Qualora non possano essere evitati, la distanza da percorrere fino ad una uscita di piano o fino al punto dove inizia la disponibilità di due o più vie di uscita, non dovrebbe eccedere in generale i valori sottoriportati:

- 12 ÷ 45 metri (tempo di percorrenza 3 minuti) per aree a rischio basso.

f) quando una via di uscita comprende una porzione del percorso unidirezionale, la lunghezza totale del percorso non potrà superare i limiti imposti alla lettera c);

h) deve esistere la disponibilità di un numero sufficiente di uscite di adeguata larghezza da ogni locale e piano dell'edificio;

3.5 - Numero e larghezza delle uscite di piano

In molte situazioni è da ritenersi sufficiente disporre di una sola uscita di piano.

Eccezioni a tale principio sussistono quando:

a) l'affollamento del piano è superiore a 50 persone;

Per i luoghi a rischio di incendio medio o basso, la larghezza complessiva delle uscite di piano deve essere non inferiore a:

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

in cui.

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

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

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

Il valore del rapporto A/50, se non è intero, va arrotondato al valore intero superiore

3.5 - Numero e larghezza delle scale

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

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

in cui:

A* = affollamento previsto in due piani contigui, a partire dal 1° piano f.t., con riferimento a quelli aventi maggior affollamento.



Classificazione dell'edificio

| Determinazione della tipologia di edificio | | | |
|--|----------------------|------------------------------|--|
| Tipologia edificio | Altezza antincendio | Max superficie compartimento | Caratteristiche REI elementi costruttivi |
| a | da 12 m a 24 m | 8000 | REI 60 |
| b | da oltre 24 m a 32 m | 6000 | REI 60 |
| c | da oltre 32 m a 54 m | 5000 | REI 90 |
| d | da oltre 54 m a 80 m | 4000 | REI 90 |
| e | oltre 80 m | 2000 | REI 120 |

Tab 13.2. - Determinazione della tipologia di edificio, D.M. 16 maggio 1987 n. 246 Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione.

Nella porzione in esame ci sono 5 compartimenti:

- Edificio 2 1772 m²
- Edificio 3 1705 m²
- Edificio 4 1809 m²
- Edificio 5 479 m²
- Spazio ipogeo 1713 m²

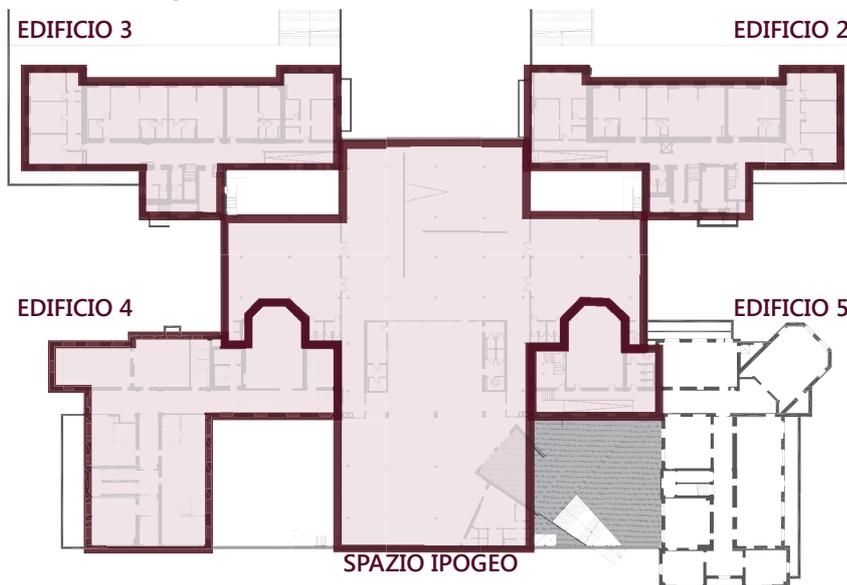


Fig. 13.25. - Compartimenti al piano P -1.

Lunghezza massima dei percorsi d'esodo e valori di affollamento

In fase di progettazione architettonica è necessario considerare ogni misura avente finalità di prevenire l'insorgere di un incendio; deve essere posta attenzione nell'adozione dei mezzi di rilevazione, segnalazione e spegnimento di un incendio.

Non potendo escludere la possibilità che il fenomeno d'incendio (con relativa produzione di calore e di fumi in quantità tali da mettere a repentaglio la vita e la sicurezza degli utenti) si sviluppi nonostante le precauzioni, il problema dell'esodo risulta di estrema importanza.

Come da *Allegato III* la lunghezza massima dei percorsi di esodo deve essere pari a **60 ml**.

Il dimensionamento delle vie d'uscita per gli edifici 2 e 3 terrà conto dell'effettivo numero di persone presenti al piano per cui:

| | | | |
|-----|------|---------------|----------------|
| P2 | 13 p | L_{usc} 0.6 | 1 modulo (min) |
| P1 | 13 p | L_{usc} 0.6 | 1 modulo (min) |
| PT | 24 p | L_{usc} 0.6 | 1 modulo (min) |
| P-1 | 12 p | L_{usc} 0.6 | 1 modulo (min) |

Verificato



Il dimensionamento delle vie d'uscita per gli spazi pubblici e semi-pubblici dovrà tenere conto del massimo affollamento ipotizzabile nell'edificio, ossia il prodotto tra la *densità di affollamento* (persone/mq) e la *superficie* degli ambienti soggetti ad affollamento da parte dell'utenza (mq); sulla base di queste considerazioni sarà possibile valutare la *capacità d'esodo* dell'edificio (numero di uscite, larghezza delle uscite, livello delle uscite rispetto al piano di campagna).

Al fine del dimensionamento delle uscite, le capacità di deflusso devono essere non superiori ai seguenti valori:

- 50 per il piano terra; - 37,5 per i piani interrati; - 37,5 per gli edifici sino a tre piani fuori terra; - 33 per gli edifici a più di tre piani fuori terra.

E' consentito adottare, per ogni piano diverso dal piano terra, capacità di deflusso non superiore a **50** alle seguenti condizioni:

- installazione di impianto di rivelazione e di segnalazione d'incendio esteso all'intera l'attività;
- adozione di scale protette;
- uscita verso l'esterno direttamente dalla scala protetta.

Considerando un indice di affollamento pari a **0,7 p/m²** per lo spazio bar / mensa e **0,4 p/m²** per la restante parte dello spazio ipogeo si ottengono i seguenti affollamenti massimi:

| | | | |
|----------------|--|---------|---------------|
| Affollamento → | 614 m ² * 0.7 p/m ² | = 430 p | (bar / mensa) |
| Affollamento → | 1102 m ² * 0.4 p/m ² | = 441 p | (ipogeo) |

Sarà dunque possibile calcolare il numero di moduli di uscita di emergenza (pari a 0,6 m) ottenuto da massimo affollamento/capacità di deflusso:

$$430 / 50 * 0.6 = 9 * 0.6 = 5.4 \text{ m (min)}$$

Sono stati previsti 10 moduli (pari a 6.00 m)

Verificato

$$441 / 50 * 0.6 = 9 * 0.6 = 5.4 \text{ m (min)}$$

Sono stati previsti 10 moduli (pari a 6.00 m)

Verificato

I moduli per le uscite di emergenza sono stati collocati, ove possibile, in posizioni molti distati tra loro, così da non creare affollamenti verso un'unica uscita e separando così il deflusso in caso di pericolo.

Sono stati posizionati estintori in posizioni strategiche che, secondo normativa, non distano tra loro più di 20 m.

Ogni uscita di emergenza è ben segnalata da opportuno cartello così come lo sono i percorsi di deflusso.

Tutte le porte dei compartimenti hanno caratteristiche REI 60 come definito da normativa.



13.5.2. Verifica dei rapporti aeroilluminanti (R.A.I.)

I rapporti aeroilluminanti esprimono il rapporto tra la superficie delle aperture presenti in ogni unità ambientale e quella del pavimento della stessa.

I rapporti minimi di illuminazione e aerazione naturale e diretta vengono definiti in funzione della destinazione d'uso e fissati dal Regolamento edilizio locale che ne prescrive le modalità di computo e verifica.

In particolare si è fatto riferimento al *Regolamento edilizio del Comune di Milano*ⁿ, nel Titolo III – Capo 4, *Norme igieniche – B) Requisiti illuminotecnici*. Le disposizioni contenute nel Titolo III devono essere osservate:

negli interventi di nuova costruzione nonché negli interventi di ristrutturazione che consistano nella totale demolizione e ricostruzione dei fabbricati e nei rimanenti interventi di ristrutturazione.

Il Regolamento edilizio fissa una serie di standard:

- 1 l'illuminazione diurna dei locali deve essere naturale e diretta.
2. Possono usufruire di illuminazione artificiale i seguenti ambienti:
 - a) locali destinati ad uffici e/o attività produttive, la cui estensione in profondità, pur con regolare rapporto illuminante, non consente un'adeguata illuminazione naturale dei piani di utilizzazione;
 - b) i pubblici esercizi, i locali aperti al pubblico destinati ad attività commerciali, culturali e ricreative;
 - c) i locali destinati ad attività che richiedono particolari condizioni di illuminazione e i locali per spettacoli (cinema, teatri e simili);
 - d) i locali non destinati alla permanenza di persone;
 - e) gli spazi destinati al disimpegno e alla circolazione orizzontale e verticale all'interno delle singole unità immobiliari e le scale comuni;
 - f) servizi igienici che dispongono di aerazione attivata.
1. L'illuminazione naturale diretta può essere del tipo perimetrale o zenitale o mista.
2. Nel caso di luce proveniente dalle pareti perimetrali esterne degli ambienti abitabili le parti trasparenti, misurate convenzionalmente al lordo dei telai degli infissi, non devono avere area complessiva inferiore a 1/10 di quella della superficie del pavimento degli ambienti stessi quando la profondità del pavimento di ogni singolo ambiente non superi 2.5 volte l'altezza da terra del punto più elevato della superficie finestrata.
3. Per profondità maggiori che comunque non devono essere superiori a 3.5 volte l'altezza, l'area complessiva delle parti trasparenti non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento.
4. La superficie illuminante è la superficie totale dell'apertura finestrata detratta l'eventuale quota inferiore fino ad un'altezza di 60 cm e la quota superiore eventualmente coperta da sporgenze, aggetti, velette (balconi, coperture, ecc.) superiore a 150 cm calcolata per un'altezza $p=L/2$ (ove p è la proiezione della sporgenza sulla parete e L è lunghezza della sporgenza dall'estremo alla parete, in perpendicolare) così come da schema esplicativo.
5. La porzione di parete finestrata che - in base allo sviluppo grafico dello schema seguente - si verrà a trovare nella porzione "p" sarà considerata utile per 1/3 agli effetti illuminanti.
6. Laddove non sia possibile modificare le pareti perimetrali esterne, la conservazione delle minori superfici trasparenti esistenti è consentita a condizione che non vengano peggiorati i rapporti di illuminazione già esistenti.

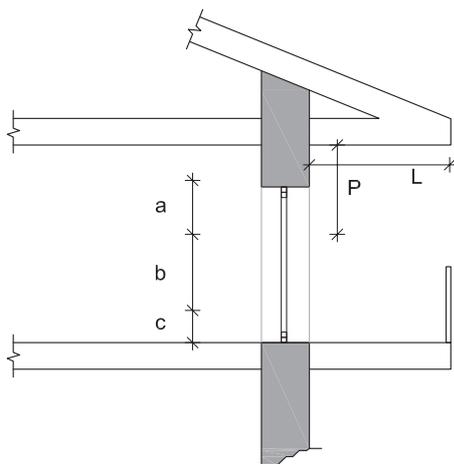
Art. 43.
(Illuminazione)

Art. 44. (Requisiti di illuminazione naturale e diretta)

ⁿ Approvato dal consiglio comunale il 20/07/99, in vigore dal 20/10/99.



Fig. 13.26. - Schema esplicativo della superficie illuminante utile.



| Superficie illuminante utile | |
|------------------------------|---|
| L | Lunghezza dell'aggetto superiore |
| P | Proiezione dell'aggetto = L/2 si calcola solo per L > 150 cm |
| a | Superficie finestrata utile per 1/3 agli effetti dell'illuminazione |
| b | Superficie finestrata utile agli effetti dell'illuminazione |
| c | Superficie, anche se vetrata, comunque non utile ai fini dell'illuminazione (c=60 cm) |

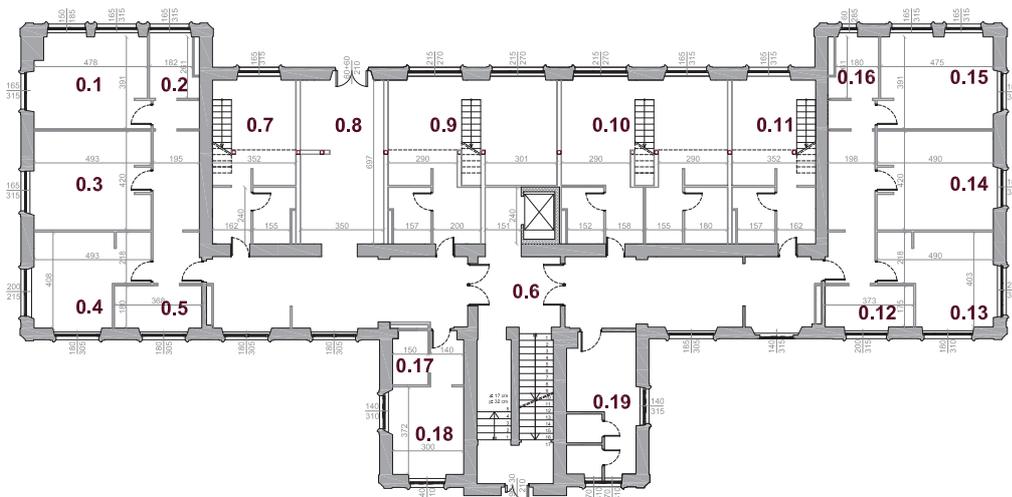
La superficie finestrata utile è uguale a $b + 1/3 a$

7. Nel caso di luce zenitale, l'area complessiva delle parti trasparenti, misurate come sopra, non deve essere inferiore a 1/12 dell'area del pavimento.

8. Nel caso di situazioni miste, il contributo della luce zenitale, in questo caso equiparato a quello delle pareti perimetrali (e quindi pari a 1/10 della superficie di pavimento), vale al solo fine dell'aumento della profondità dell'ambiente.

EDIFICIO NUMERO 3: verranno in seguito riportati i valori di verifica R.A.I. dell'edificio ove è stato maggiormente modificato lo spazio l'interno:

Fig. 13.27. - Pianta PT_ codici di riferimento delle unità ambientali.



Tab. 13.3. - Verifiche R.A.I. piano terra.

| Cod. | Unità ambientale | Superficie S [m ²] | S. finestrata F [m ²] | R.A.I. min adm 0,100 | R.A.I. effettiva | Verifica |
|------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|----------|
| 0.1 | Camera doppia | 19,59 | 13,17 | x | 0,672 | ok |
| 0.2 | Bagno | 5,27 | 5,20 | x | 0,986 | ok |
| 0.3 | Camera doppia | 21,02 | 5,20 | x | 0,247 | ok |
| 0.4 | Camera doppia | 17,58 | 9,79 | x | 0,557 | ok |
| 0.5 | Bagno | 6,63 | 5,49 | x | 0,828 | ok |
| 0.6 | Corridoio | 76,53 | 20,88 | x | 0,273 | ok |
| 0.7 | Camera doppia | 29,90 | 5,20 | x | 0,174 | ok |
| 0.8 | Ingresso | 24,40 | 2,64 | x | 0,108 | ok |
| 0.9 | Camera tripla | 46,66 | 11,61 | x | 0,249 | ok |
| 0.10 | Camera quadrupla | 59,43 | 11,00 | x | 0,185 | ok |



| Cod. | Unità ambientale | Superficie S [m ²] | S. finestrata F [m ²] | R.A.I. min adm 0,100 | R.A.I. effettiva | Verifica |
|------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|----------|
| 0.11 | Camera doppia | 29,92 | 5,20 | x | 0,174 | ok |
| 0.12 | Bagno | 6,87 | 6,30 | x | 0,917 | ok |
| 0.13 | Camera doppia | 17,49 | 12,25 | x | 0,700 | ok |
| 0.14 | Camera doppia | 20,88 | 5,20 | x | 0,249 | ok |
| 0.15 | Camera doppia | 19,65 | 15,59 | x | 0,794 | ok |
| 0.16 | Bagno | 5,14 | 1,71 | x | 0,333 | ok |
| 0.17 | Bagno | 3,35 | 0,00 | x | 0,000 | - |
| 0.18 | Camera singola | 11,74 | 8,68 | x | 0,739 | ok |
| 0.19 | Bagno | 17,73 | 8,75 | x | 0,494 | ok |

Tab. 13.4. - Verifiche R.A.I. piano terra.

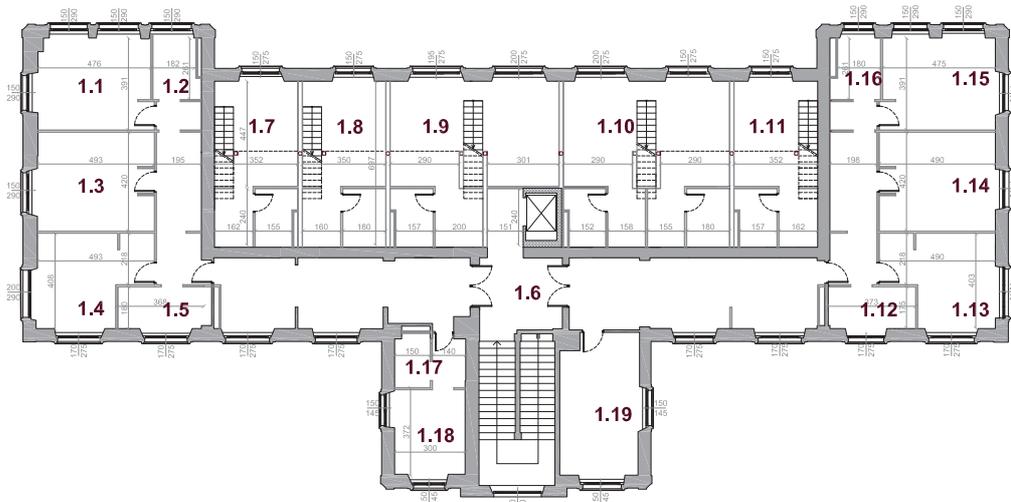


Fig. 13.28. - Pianta P1 _ codici di riferimento delle unità ambientali.

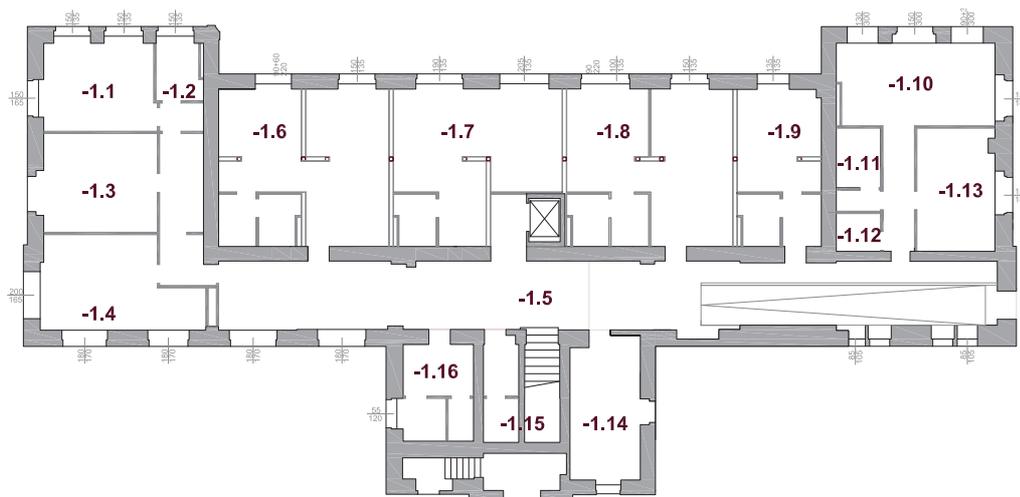
| Cod. | Unità ambientale | Superficie S [m ²] | S. finestrata F [m ²] | R.A.I. min adm 0,100 | R.A.I. effettiva | Verifica |
|------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|----------|
| 1.1 | Camera doppia | 21,69 | 13,05 | x | 0,602 | ok |
| 1.2 | Bagno | 6,74 | 4,35 | x | 0,645 | ok |
| 1.3 | Camera doppia | 22,48 | 4,35 | x | 0,194 | ok |
| 1.4 | Camera doppia | 19,35 | 5,80 | x | 0,300 | ok |
| 1.5 | Bagno | 8,24 | 4,68 | x | 0,567 | ok |
| 1.6 | Corridoio | 88,07 | 18,70 | x | 0,212 | ok |
| 1.7 | Camera doppia | 29,90 | 4,13 | x | 0,138 | ok |
| 1.8 | Camera doppia | 24,40 | 4,13 | x | 0,169 | ok |
| 1.9 | Camera tripla | 46,66 | 10,86 | x | 0,233 | ok |
| 1.10 | Camera quadrupla | 59,43 | 9,63 | x | 0,162 | ok |
| 1.11 | Camera doppia | 29,92 | 4,13 | x | 0,138 | ok |
| 1.12 | Bagno | 7,56 | 4,68 | x | 0,618 | ok |
| 1.13 | Camera doppia | 19,24 | 10,48 | x | 0,544 | ok |
| 1.14 | Camera doppia | 22,26 | 4,35 | x | 0,195 | ok |
| 1.15 | Camera doppia | 21,48 | 13,05 | x | 0,608 | ok |
| 1.16 | Bagno | 6,90 | 4,35 | x | 0,630 | ok |
| 1.17 | Bagno | 4,35 | 0,00 | x | 0,000 | - |
| 1.18 | Camera singola | 13,55 | 4,35 | x | 0,321 | ok |
| 1.19 | Ripostiglio | 23,10 | 4,35 | x | 0,188 | ok |

Tab. 13.5. - Verifiche R.A.I. piano primo.



IL PROGETTO ARCHITETTONICO

Fig. 13.29. - Pianta P -1_ codici di riferimento delle unità ambientali.



Tab. 13.6. - Verifiche R.A.I. piano interrato.

| Cod. | Unità ambientale | Superficie S [m ²] | S. finestrata F [m ²] | R.A.I. min adm | | R.A.I. effettiva | Verifica |
|-------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------|------------------|----------|
| | | | | 0,100 | 0,125 | | |
| -1.1 | Ufficio | 18,91 | 6,53 | x | | 0,345 | ok |
| -1.2 | Bagno | 5,10 | 2,03 | x | | 0,397 | ok |
| -1.3 | Ufficio | 20,78 | 3,30 | x | | 0,159 | ok |
| -1.4 | Ufficio | 23,64 | 8,74 | | x | 0,370 | ok |
| -1.5 | Corridoio | 90,88 | 9,69 | x | | 0,107 | ok |
| -1.6 | Ufficio | 39,60 | 5,33 | | x | 0,134 | ok |
| -1.7 | Ufficio | 36,23 | 5,33 | | x | 0,147 | ok |
| -1.8 | Ufficio | 39,16 | 5,36 | | x | 0,137 | ok |
| -1.9 | Ufficio | 15,56 | 1,82 | x | | 0,117 | ok |
| -1.10 | Ufficio | 30,47 | 15,60 | x | | 0,512 | ok |
| -1.11 | Bagno | 6,53 | 0,00 | x | | 0,000 | - |
| -1.12 | Ripostiglio | 3,05 | 0,00 | x | | 0,000 | - |
| -1.13 | Ufficio | 17,12 | 2,70 | x | | 0,158 | ok |
| -1.14 | Ripostiglio | 18,26 | 0,00 | | x | 0,000 | - |
| -1.15 | Bagno | 6,79 | 0,00 | x | | 0,000 | - |
| -1.16 | Bagno | 14,17 | 0,00 | x | | 0,000 | - |

Negli alloggi doppi per studenti sono stati previsti servizi igienici di pertinenza non dotati di superficie aeroilluminante diretta (bagni ciechi): in questi casi l'aspirazione forzata deve assicurare un coefficiente di ricambio minimo di 6 volumi/ora.

Per quanto concerne le aree funzionali destinate a servizi comuni è da specificare che esse possono usufruire di illuminazione artificiale; la medesima osservazione è da estendersi anche agli spazi destinati al disimpegno e alla circolazione orizzontale e verticale all'interno dell'edificio e alle scale comuni.



13.5.3. 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 dal seguente corpus legislativo:

- Legge 9 gennaio 1989, n.13 - *Disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici privati;*
- 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.*

Per *accessibilità* si intende la possibilità, anche per persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, di raggiungere l'edificio e le sue singole unità immobiliari e ambientali, di entrarvi agevolmente e di fruirne spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia. L'accessibilità esprime il più alto livello in quanto ne consente la totale fruizione nell'immediato.

Per *visitabilità* si intende la possibilità, anche da parte di persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale, di accedere agli spazi di relazione e ad almeno un servizio igienico di ogni unità immobiliare. Sono spazi di relazione gli spazi di soggiorno o pranzo dell'alloggio e quelli dei luoghi di lavoro, servizio ed incontro, nei quali il cittadino entra in rapporto con la funzione svolta. La visitabilità rappresenta un livello di accessibilità limitato ad una parte più o meno estesa dell'edificio o delle unità immobiliari, che consente comunque ogni tipo di relazione fondamentale anche alla persona con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale.

Per *adattabilità* si intende la possibilità di modificare nel tempo lo spazio costruito a costi limitati, allo scopo di renderlo completamente ed agevolmente fruibile anche da parte di persone con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale. L'adattabilità rappresenta un livello ridotto di qualità, potenzialmente suscettibile, per originaria previsione progettuale, di trasformazione in livello di accessibilità; l'adattabilità è, pertanto, un'accessibilità differita.

Gli spazi esterni alle camere di pertinenza del complesso edilizio risultano essere totalmente accessibili: non esistono infatti ostacoli materiali alla circolazione nel piano orizzontale mentre tutti i dislivelli (tra piano campagna e quota degli spazi commerciali) sono superabili mediante rampe appositamente progettate. Si prevede inoltre l'installazione di segnaletica atta a migliorare la fruibilità anche per utenti con ridotte capacità sensoriali.

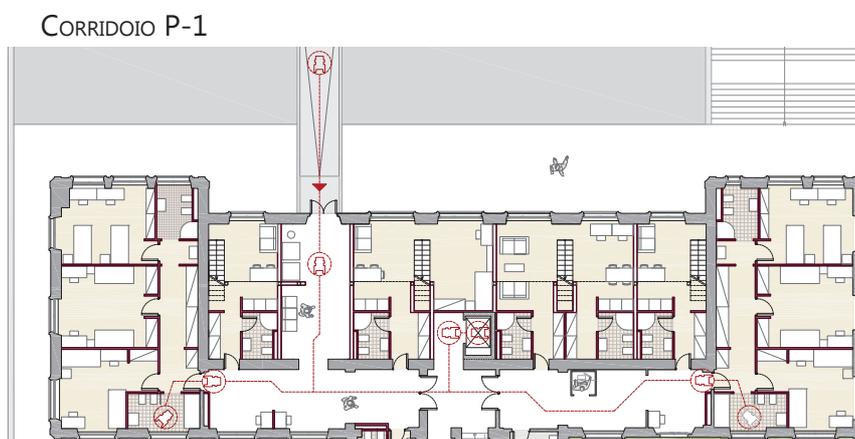
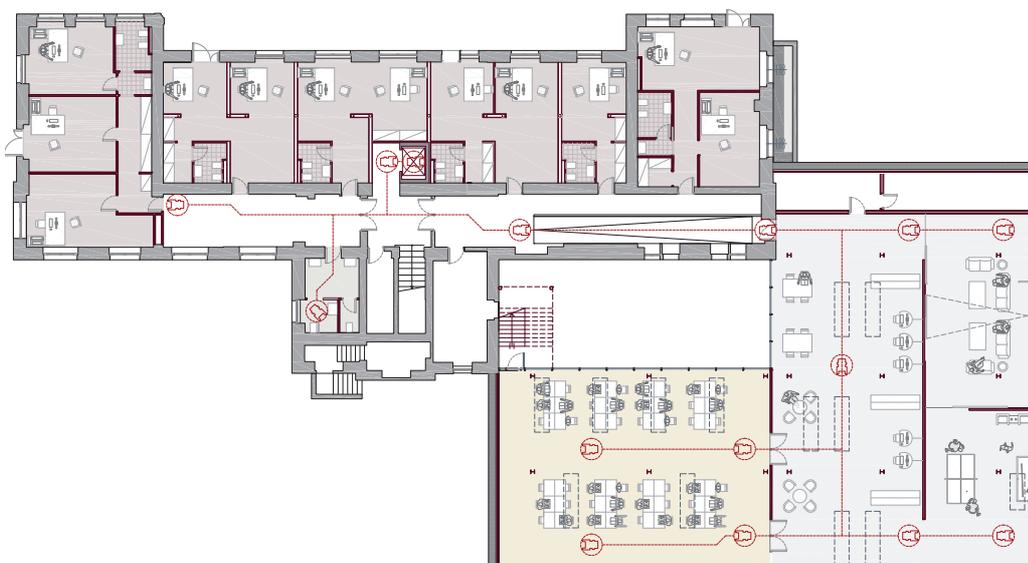


Fig. 13.30. -
Accessibilità piano
terra.



CORRIDOIO PT E SPAZIO IPOGEO

Fig. 13.31. -
Accessibilità spazio
ipogeo.

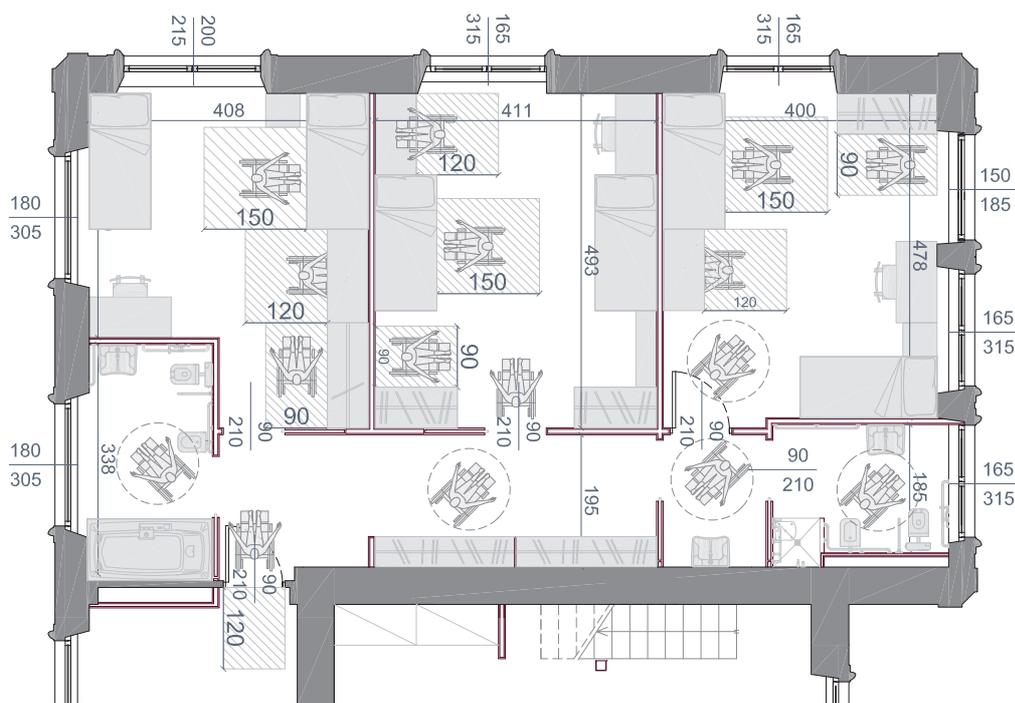


Devono inoltre essere accessibili almeno il 5% degli alloggi previsti negli interventi di edilizia residenziale, con un minimo di una unità per ogni intervento. Nell'edifici 2 e 3, su un totale di 30 alloggi (100 posti letto), soddisfano il requisito di accessibilità 8 alloggi: si perviene quindi ad una percentuale sul totale di alloggi accessibili pari all'26.5%. Il minimo imposto dalla Normativa (5%) risulta quindi ampiamente garantito.

L'organizzazione spaziale degli alloggi accessibili da utenti a scarsa capacità motoria soddisfa la verifica degli standard dimensionali minimi sia per quanto riguarda i percorsi, sia per le distanze minime dagli arredi fissi.

Nei servizi igienici sono state garantite, con opportuni accorgimenti spaziali, le manovre di una sedia a ruote necessarie per l'utilizzazione degli apparecchi sanitari.

Fig. 13.32. - Gruppo
camere accessibili a
una sedia a ruote,
scala 1:110.



- scala 1
 - scala 2
 - scala 3
 - scala 4
 - scala 5
 - scala 6
 - scala 7
 - scala 8
 - scala 9
 - scala 10
 - scala 11
- compartimentazione



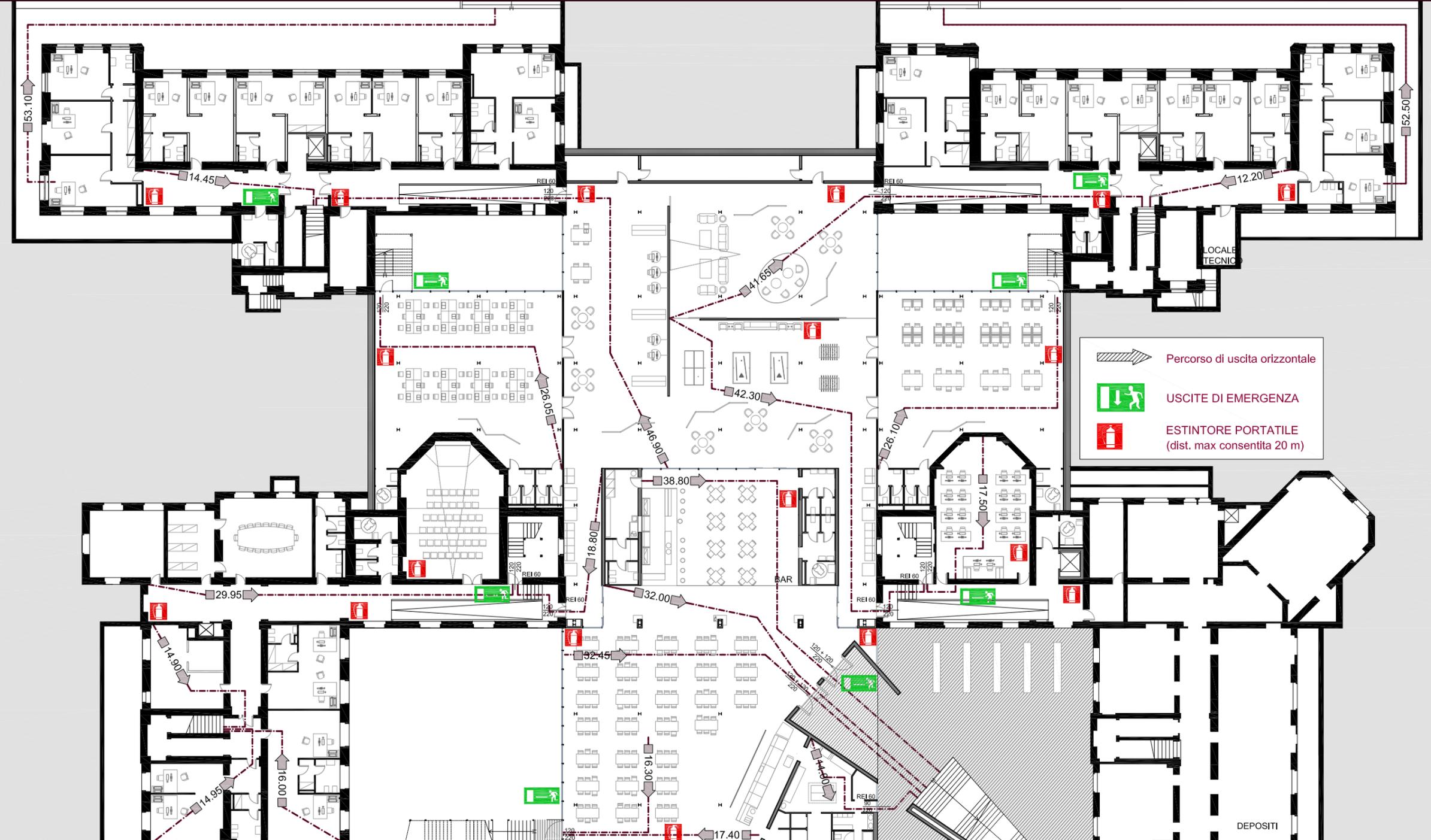
D.M. 16/05/1987 n. 246 - D.M. 10/03/1998

Determinazione della tipologia di edificio

| Tipologia edificio | Altezza antincendio [m] | Max superficie compartimento [m ²] | Max sup. competenza per ogni scala [m ²] | Tipo di vani scala e di almeno 1 vano ascensore | Caratteristiche REI elementi costruttivi |
|--------------------|-------------------------|--|--|---|--|
| a | da 12 a 24 | 8000 | 500 | nessuna prescrizione | REI 60 |
| | | | 550 | almeno a prova di fumo interno | REI 60 |
| | | | 600 | a prova di fumo | REI 60 |
| b | da 24 a 32 | 6000 | 500 | - | REI 60 |
| c | da 32 a 54 | 5000 | 500 | - | REI 90 |
| d | da 54 a 80 | 4000 | 500 | - | REI 120 |
| e | oltre 80 | 2000 | 350 | - | REI 120 |

La lunghezza del percorso per raggiungere la più vicina uscita di piano non dovrebbe essere superiore a 45 + 60 metri (tempo max. di evacuazione 5 minuti) per aree a rischio di incendio basso.

| Caratteristiche vani scala: SCALA 1 | | |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Superf. servita | Prescrizioni vano scala | Caratt. REI |
| 351 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 2 | | |
| 214 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 3 | | |
| 213 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 4 | | |
| 385 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 5 | | |
| 396 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 6 | | |
| 411 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 7 | | |
| 262 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 8 | | |
| 152 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 9 | | |
| 462 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 10 | | |
| 335 mq | nessuna | 60 |
| Caratteristiche vani scala: SCALA 11 | | |
| 350 mq | nessuna | 60 |



Percorso di uscita orizzontale

USCITE DI EMERGENZA

ESTINTORE PORTATILE (dist. max consentita 20 m)



Il progetto tecnologico



14. Soluzioni tecnologiche

Il progetto tecnologico si suddivide prevalentemente in due categorie:

- 1) Recupero dell'**esistente** al fine di migliorare le sue prestazioni secondo i parametri descritti dalle normative sul rendimento energetico e sulle costruzioni¹.
- 2) Scelta di pacchetti tecnologici innovativi per lo spazio in **ipogeo**, in modo da garantire prestazioni energetiche ottimali per questi spazi.

Gli obiettivi che hanno guidato l'adozione di precise soluzioni tecnologiche sono stati i seguenti:

- l'ottenimento un prodotto edilizio con prestazioni termiche elevate;
- l'adozione di un numero limitato di soluzioni tecnologiche per una maggiore semplicità di esecuzione;
- dove possibile, adozione di tecnologie stratificate a secco, così da garantire una certa flessibilità, leggerezza e rapidità di montaggio;
- utilizzo di materiali sostenibili realizzati con processi di produzioni poco impattanti e a basso consumo energetico;
- dove possibile, adozione di tecnologie innovative, ma che sappiano facilmente dialogare con le costruzioni locali.

Nella parte di adeguamento dell'*esistente* è stato previsto un rinforzo dei solai con il sistema Tecnarìa² - così da garantire l'assorbimento dei nuovi pesi di progetto - e la realizzazione di nuove coperture con pacchetti innovativi.

Per la realizzazione degli spazi *ex novo* si prevede l'utilizzo di tecnologie stratificate a secco (ad eccezione del getto di completamento per la lamiera grecata e dei setti portanti). Tale scelta è giustificata dalla volontà di una sperimentazione progettuale che possa perseguire i principali obiettivi del costruire contemporaneo quali:

- creazione di spazi flessibili e adattabili;
- semplicità e rapidità di installazione in cantiere;
- ottimizzazione dei tempi e dei costi necessari per la costruzione;
- facilità di smaltimento dei materiali con eventuale riuso o riciclaggio dei materiali.

14.1. Intervento sull'esistente

Coerentemente con la scelta architettonica di lasciare inalterato l'aspetto dei fronti degli edifici, la strategia di riduzione delle dispersioni termiche prevede, in linea generale, il posizionamento di uno strato di isolamento interno lungo l'intradosso delle chiusure perimetrali realizzate in muratura portante monostrato. Tutte le finiture interne sono realizzate tramite placcaggio in cartongesso.

Sono stati collocati dei controsoffitti isolati per mitigare l'effetto dei ponti termici laddove è stato impossibile ottenere continuità nell'isolamento.

Per non gravare i solai esistenti con carichi eccessivi, le partizioni interne verticali sono costituite da pareti leggere a secco tipo "Knauf", soluzione di rapida realizzazione che ha permesso, oltretutto, di ottenere un comfort acustico.

Le finiture delle pavimentazioni esistenti sono state sostituite con nuove stratigrafie a secco comprensive di massetto impiantistico.

I serramenti sono stati sostituiti con superfici trasparenti ad elevate prestazioni, così da garantire una relativa uniformità nell'involucro.

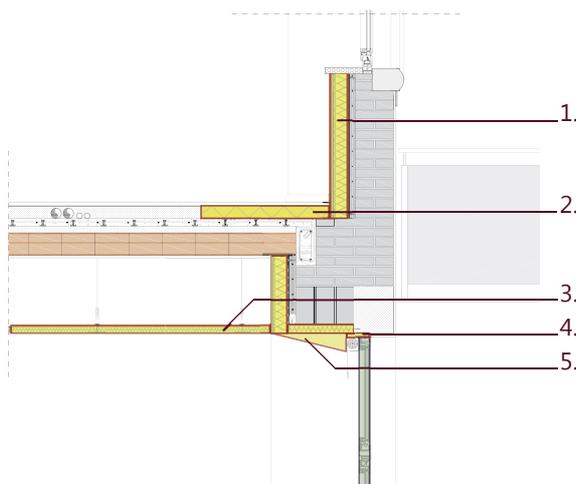
¹ D.Lgs. 311/10, attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia e Cap. 8 delle NTC (D.M. 14/01/2008) con relativa Circolare 02/02/2009, n. 617.

² www.tecnaria.com, cfr. Paragrafo. 14.1.



IL PROGETTO TECNOLOGICO

Fig. 14.1. - Dettaglio in scala 1:50 con evidenziazione degli interventi che garantiscono un adeguato comfort termico e acustico. (Cfr. Tav. 102)



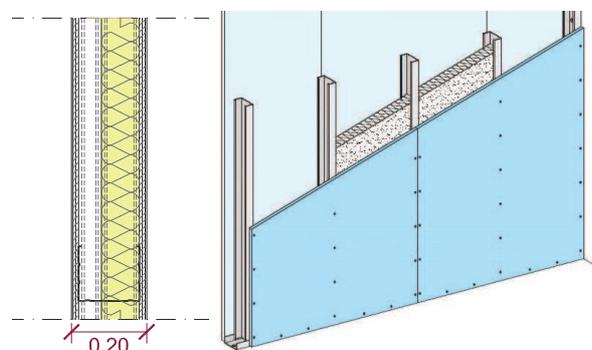
Elementi di isolamento interno:

1. Placcaggio in cartongesso, sp. 10 cm.
2. Isolante rigido in lana minerale per la mitigazione del ponte termico, lunghezza 1 m, sp. 10 cm.
3. Controsoffitto comprensivo di isolamento in lana minerale per mitigare il ponte termico e per il comfort acustico, sp. 4,50 cm.
4. Profilo metallico di sostegno al serramento con schiuma isolante integrata.
5. Architrave isolante tipo "Ytong".
6. Serramento in acciaio a taglio termico, $U = 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$

Questa tipologia di isolamento interno riesce a garantire le prestazioni minime prescritte dalla normativa vigente (*D.Lgs. 311 - 2010*) con una trasmittanza dell'elemento opaco pari a: $0,2944 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fig. 14.2. - A sinistra: dettaglio in scala 1:50: pareti divisorie tipo Knauf.

Fig. 14.3. - A destra: assonometria parete da scheda tecnica Knauf.



Lo spessore delle pareti (20 cm) permette il posizionamento di un pilastro qualora previsto.

Collocando i profili a C a un interasse di 30 cm è possibile prealizzare pareti fino a 8 metri, conformemente ai parametri di progetto.

La parete in oggetto conferisce un adeguato isolamento acustico: l'indice di valutazione del potere fonoisolante è pari a $R_w = 54 \text{ dB}^3$.

14.1.1. Edifici numero 2 e 3: innovazione e conservazione

Negli Edifici Numero 2 e 3 è stato strutturato un intervento più invasivo rispetto agli altri: per la realizzazione delle camere duplex, infatti, è stato necessario prevedere la rimozione del tetto, il consolidamento dei solai di interpiano e delle murature esistenti con la tecnica dell'intonaco armato.

Le finiture dei nuovi pacchetti di chiusura sono caratterizzate dall'impiego di materiali in continuità con quelli presenti negli edifici esistenti o legati agli stessi per affinità cromatica. Caso emblematico è quello del cotto: esso ad oggi caratterizza il manto in tegole marsigliesi a copertura di tutti gli edifici dell'area. L'idea progettuale lo ripropone, invece, con elementi a listelli del tipo "Autan" in due cromie legate alle tonalità della terra. Essi fungono da decorazione e, al contempo, esplicano anche la funzione di fermaneve ponendosi al di sopra delle lastre di chiusura in rame ossidato. I listelli diventano, invece, elementi frangisole nei tratti di copertura del ballatoio freddo di distribuzione degli edifici 2-3. Il rame, usato in grande formato, è il materiale che abbraccia sia le nuove realizzazione che gli interventi sul costruito. Esso è impiegato in lastre rettangolari con finitura opaca ossidata. Proprio le dimensioni delle lastre rettangolari vengono assunte come segno di modernità per un materiale, già presente in altre forme, all'interno delle costruzioni da secoli.

Per quanto riguarda i restanti edifici dell'isolato, invece, ci si è limitati alla realizzazione di nuove partizioni interne verticali per la suddivisione delle varie stanze della residenza per studenti.

³ Art. 24.5. del D.P.C.M. del 5/12/1997, *Requisiti minimi di isolamento acustico*, categoria C "Edifici adibiti ad alberghi, pensioni o attività assimilabili", Tab. A: Potere fonoisolante apparente tra unità abitative $R_w = 50 \text{ dB}$.

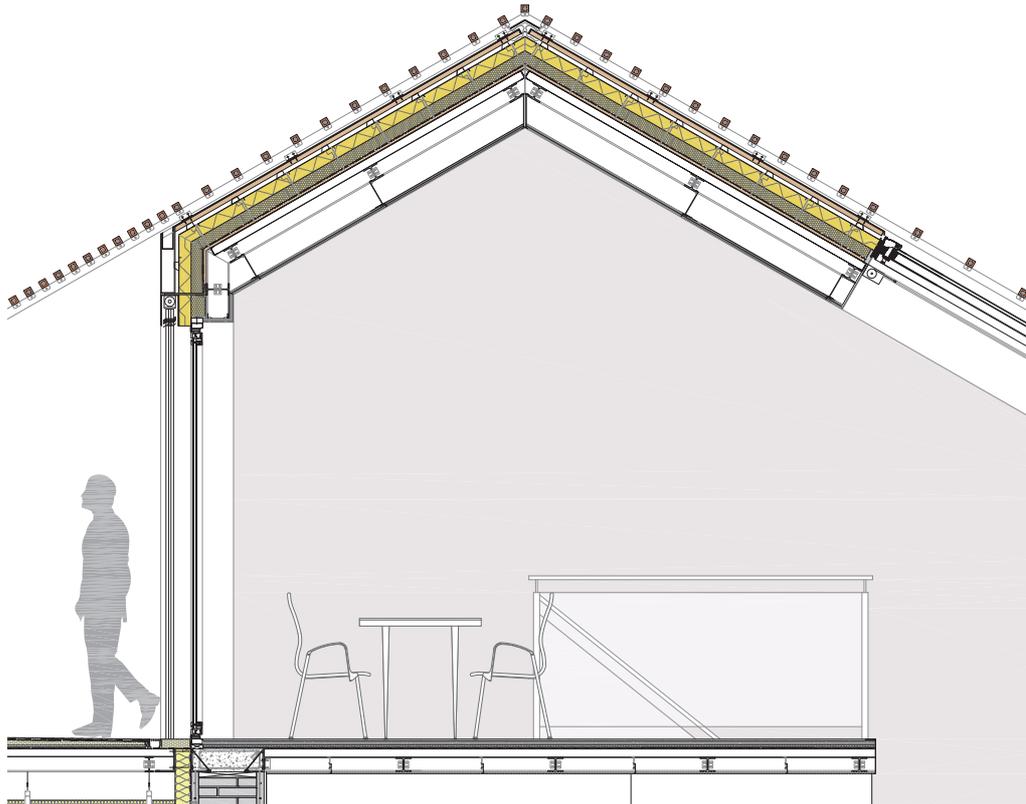


Fig. 14.4. - Copertura edificio 3 in cotto e rame, scala 1:50. (Cfr. Tav. 103)



Materiali impiegati per la realizzazione della copertura:

Fig. 14.5. - A sinistra: elementi brise-soleil in cotto tipo "Autan Terreal".

Fig. 14.6. - In centro: lastra di rame ossidato.

Fig. 14.7. - A destra: pannello Isotec.



MOOD dei materiali

RIVESTIMENTO COPERTURA
- Lastre in rame ossidato
s=0,5 cm lunghezza max 400 cm

BRISE-SOLEIL
- Elementi oscuranti in cotto Autan

 colore: Violine
finitura: liscia
dimensioni: 5,3x28x5 cm

 colore: Rouge-orangè
finitura: liscia
dimensioni: 5,3x28x5 cm



Fig. 14.8. - A sinistra: prospetto nord edificio 3.

Fig. 14.9. - A destra: mood dei materiali impiegati per la realizzazione della copertura.



14.1.2. Verifiche prestazionali

Una volta stabiliti gli strati funzionali che costituiscono tutte le unità tecnologiche (in particolare le chiusure), sono state definite le prestazioni energetiche residue che li caratterizzano. Attraverso il software Jvap⁴ è stato possibile progettare pacchetti che garantiscano una presenza di condensa al di sotto dei limiti previsti dalla normativa. Conseguentemente sono state redatte delle schede che mettono a confronto lo stato di fatto con le prestazioni ottenute a seguito dell'intervento di conservazione: in particolare, le schede riportate in seguito contengono le valutazioni delle prestazioni energetiche offerte dai pacchetti dell'Edificio 3⁵, mettendo a confronto lo stato di fatto delle strutture con le nuove stratigrafie ipotizzate: ogni considerazione fa riferimento ai valori forniti dalla normativa vigente in materia di calcoli energetici.

Dai sopralluoghi effettuati e dai successivi calcoli è stato possibile evincere che gli edifici esistenti, costruiti prima del 1930, garantiscono delle prestazioni molto ridotte: in termini energetici è possibile collocare tali edifici in classe G, ossia la più bassa della scala di riferimento. A seguito di tale constatazione, sono state progettate delle nuove stratigrafie, in modo da migliorare significativamente le prestazioni energetiche offerte che hanno contribuito, assieme ad altre migliorie sul sistema di riscaldamento-raffrescamento, a portare l'edificio in classe A⁶. Ottenere un edificio che presenti una classe energetica elevata presuppone una serie di vantaggi relativi al risparmio energetico per la climatizzazione estiva e invernale: questo garantisce un'incidenza minima sull'ambiente, che è uno degli obiettivi fondamentali perseguiti dai nuovi studi di progettazione.

⁴ Software fornito da Celenit.

⁵ Il quale risulta esemplificativo per tutti gli edifici dell'isolato, essendo stati realizzati nel medesimo periodo storico a seguito di un progetto unitario.

⁶ Cfr. Capitolo 15.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | codice elemento | | | |
|---|---|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | | EL. TECNICO | | | | |
| <p>Legenda</p> <p><i>Immagine</i></p> <p>Scala 1:20</p> | | | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | | | |
| cod. | Strato | | | | | |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | | | |
| | Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | valore |
| | Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | valore |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | |
| Novembre | - | - | | | | |
| Dicembre | - | - | | | | |
| Gennaio | - | - | | | | |
| Febbraio | - | - | | | | |
| Marzo | - | - | | | | |
| Aprile | - | - | | | | |
| Maggio | - | - | | | | |
| Giugno | - | - | | | | |
|  | | | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: Resistenza termica totale dell'elemento: | | | | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010

** Mese critico



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CV. 01/e | | | |
|--|---------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Verticale | EL. TECNICO | Parete perimetrale verticale | | | |
| | | 1. Tinteggiatura 2. Intonaco in malta di calce, sp. 1,50 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/ho resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| INT | Malta di calce o di calce e cemento | 0,015 | 0,70 | | 0,0167 | 20,00 |
| MAT | Muratura in mattoni pieni | 0,51 | | | 0,65 | 23,00 |
| INT | Malta di calce e gesso | 0,015 | 0,70 | | 0,0167 | 20,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 7 | 0,13 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 0,8581 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 1,1654 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | |
| Novembre | - | - | | | | |
| Dicembre | - | - | | | | |
| Gennaio | - | - | | | | |
| Febbraio | - | - | | | | |
| Marzo | - | - | | | | |
| Aprile | - | - | | | | |
| Maggio | - | - | | | | |
| Giugno | - | - | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 0,8581 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,34 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



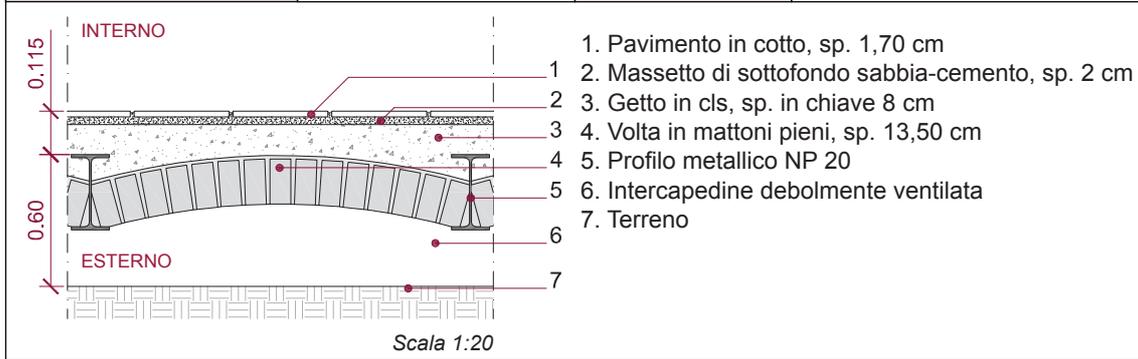
| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CV. 01/p | | | |
|--|---|--|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Verticale | EL. TECNICO | Parete perimetrale verticale | | | |
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco in malta di calce, sp. 1,50 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm 4. Intonaco armato con rete elettrosaldata, sp. 4 cm 5. Isolante semirigido in lana minerale sp. 10 cm 6. Lastra Knauf A13, sp. 1,25 cm 7. Idrolastra Knauf con barriera al vapore in lamina di alluminio sp. 1,25 cm 8. Sottostruttura a C in acciaio zincato | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| INT | Malta di calce o di calce e cemento | 0,015 | 0,70 | | 0,0167 | 20,00 |
| MAT | Muratura in mattoni pieni | 0,51 | | | 0,65 | 23,00 |
| INT | Malta di calce o di calce e cemento | 0,015 | 0,70 | | 0,0167 | 20,00 |
| IAR | Intonaco armato | 0,04 | 1 | | 0,04 | 60,00 |
| ISL | Isolante semirigido in lana minerale | 0,10 | 0,0042 | | 2,381 | 1,00 |
| CAR | Lastra in cartongesso Knauf A13 | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| CAR | Idrolastra cartong. con barr. al vapore | 0,0125 | 0,20 | | 0,0625 | 7900,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 7 | 0,13 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 3,3963 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,2944 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENZA INTERSTIZIALE** | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | |
| Novembre | - | - | | | | |
| Dicembre | - | - | | | | |
| Gennaio | - | - | | | | |
| Febbraio | - | - | | | | |
| Marzo | - | - | | | | |
| Aprile | - | - | | | | |
| Maggio | - | - | | | | |
| Giugno | - | - | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 3,3963 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,34 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



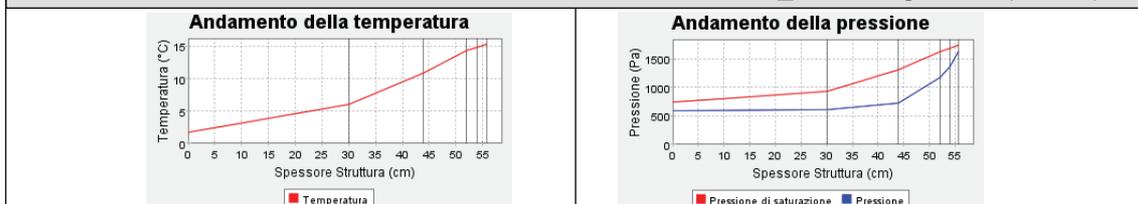
| | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | CO. 01/e | |
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio controterra |



PRESTAZIONI RESIDUE

| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
|------|--|---------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,30 | | | 0,115 | 1,00 |
| MUR | Rif. 1.1.01 Laterizi pieni sp. 14 cm | 0,14 | | | 0,18 | 10,00 |
| CLS | CLS generico - ρ 1500 kg/m ³ | 0,08 | 0,65 | | 0,1231 | 75,00 |
| CLS | CLS per sottof. non aerati - ρ 1500 kg/m ³ | 0,02 | 0,94 | | 0,0213 | 130,00 |
| PAV | Pavimento in cotto | 0,017 | 1 | | 0,017 | 205,00 |
| | 1/hi resitenza termica di ammissione | | | 6 | 0,17 | |
| | Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | 0,6664 |
| | Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | 1,5007 |

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** *Condensa non presente*

| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] |
|----------|--------------------------------------|------------------------------|
| Novembre | - | - |
| Dicembre | - | - |
| Gennaio | - | - |
| Febbraio | - | - |
| Marzo | - | - |
| Aprile | - | - |
| Maggio | - | - |
| Giugno | - | - |
| Luglio | - | - |
| Agosto | - | - |

RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

| | |
|--|--------------------------------|
| Resistenza termica minima accettabile: | 2,1385 m ² K/W |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | 0,6664 m²K/W |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,33 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 01/p | | | |
|--|---|--|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio controterra | | | |
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in linoleum + collante, sp. 3.00 cm 2. Massetto per impianti in argilla espansa, sp. 8.00 cm 3. Pannello isolante rigido in fibra di legno e polistirene espanso, sp. 10,00 cm 4. Strato resiliente in polietilene, sp. 0.40 cm 5. Getto in cls con rete elettrosaldata e connettori Tecnar, sp. 5 cm 6. Riempimento con sabbia-cemento 7. Volta in mattoni pieni, sp. 13,50 cm 8. Profilo metallico NP 20 9. Intercapedine debolmente ventilata 10. Terreno | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,30 | | | 0,115 | 1,00 |
| MUR | Rif. 1.1.01 Laterizi pieni | 0,14 | | | 0,18 | 10,00 |
| CLS | CLS generico – densità 1200 kg/m ³ | 0,05 | 0,47 | | 0,1064 | 60,00 |
| PLA | Polietilene (PE) | 0,004 | 0,35 | | 0,0114 | 100000,00 |
| CEL | Isolante CELENIT E3 100 | 0,10 | | | 2,45 | 84,00 |
| MAS | Massetto in argilla espansa | 0,08 | 0,105 | | 0,7619 | 3,00 |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,03 | 0,18 | | 0,1667 | 70,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 6 | 0,17 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 4.0014 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,2499 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | Condensa presente < del valore limite (500 g/m²) | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | |
| Novembre | 22,29 | 22,29 | | | | |
| Dicembre | 36,58 | 58,87 | | | | |
| Gennaio | 40,08 | 98,96 | | | | |
| Febbraio | 33,52 | 132,47 | | | | |
| Marzo | 17,61 | 150,09 | | | | |
| Aprile | -2,27 | 147,81 | | | | |
| Maggio | -22,44 | 125,37 | | | | |
| Giugno | -52,07 | 73,3 | | | | |
| Luglio | -71,28 | 2,02 | | | | |
| Agosto | -63,03 | 0 | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 4,0014 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,33 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 03/e | | | |
|--|---|------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura | | | |
| <p>ESTERNO</p> <p>INTERNO</p> <p>Scala 1:20</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tegole marsigliesi 2. Listelli sottomanto 3. Assito in legno, sp. 2,00 cm 4. Travetto in legno, sp. 10,00 cm 5. Puntone di sostegno in legno, sp. 22,00 cm 6. Arcareccio in legno, sp. 8,00 cm | | | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | Strato di copertura discontinua (tegole) | - | | | 0,100 | - |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,03 | | | 0,095 | 1,00 |
| LEG | Pannelli di particelle pressati | 0,02 | 0,65 | | 0,200 | 50,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 10 | 0,10 | |
| | Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | 0,4950 |
| | Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | 2,0202 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| <p>Andamento della temperatura</p> | | | <p>Andamento della pressione</p> | | | |
| <p>RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE**</p> | | | <p>Condensa non presente</p> | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | <p>Accumulo condensa</p> | | | |
| Novembre | - | - | <p>Sup est. —</p> <p>Interf. 1 —</p> <p>Sup int. —</p> <p>INA</p> <p>LEG</p> | | | |
| Dicembre | - | - | | | | |
| Gennaio | - | - | | | | |
| Febbraio | - | - | | | | |
| Marzo | - | - | | | | |
| Aprile | - | - | | | | |
| Maggio | - | - | | | | |
| Giugno | - | - | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 0,4950 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 03/p | | | |
|--|--|---|--|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura | | | |
| <p>ESTERNO</p> <p>INTERNO</p> <p>Scala 1:20</p> | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal 2. Sottostruttura metallica, sp. 7,50 cm 3. Elemento di sostegno a L 4. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm 5. Assito in legno, sp. 3,00 cm 6. Intercapedine ventilata, sp. 3,00 cm 7. Pannello isolante tipo ISOTEC XL, sp. 10 cm 8. Pannello isolante termoacustico in lana di legno tipo Celenit, sp. 7,50 cm 9. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,40 cm 10. Assito in legno, sp. 2,00 cm 11. Struttura portante in acciaio 12. Placcaggio in cartongesso, sp. 2,50 cm | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| MET | Rame | 0,006 | 4 | | 0,00 | 2000000,00 |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,030 | 0,35 | | 0,1923 | 60,00 |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,025 | | | 0,095 | 1,00 |
| ISO | Isolante in pannelli isotec XL | 0,080 | 0,024 | | 3,3333 | 50000,00 |
| CEL | Isolante CELENIT N 75 | 0,075 | 0,034 | | 1,15 | 5,00 |
| IMP | Bitume polimero su PPL sp. 4 mm | 0,004 | 0,105 | | 0,0133 | 80000,00 |
| LEG | Pannelli di particelle pressati | 0,020 | 0,144 | | 0,20 | 50,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 5,1240 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1952 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| <p>Andamento della temperatura</p> | | | <p>Andamento della pressione</p> | | | |
| <p>RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE**</p> | | | <p>Condensa presente < del valore limite (500 g/m²)</p> | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | <p>Accumulo condensa</p> | | | |
| Novembre | 0,06 | 0,06 | <p>MET Sup est.</p> <p>LEG Interf. 3</p> <p>LEG Interf. 4</p> <p>INA Interf. 5</p> <p>ISO Interf. 6</p> <p>CEL Interf. 7</p> <p>IMP Interf. 8</p> <p>LEG Sup int.</p> <p>CONDENSAZIONE</p> <p>EVAPORAZIONE</p> | | | |
| Dicembre | 0,1 | 0,16 | | | | |
| Gennaio | 0,11 | 0,27 | | | | |
| Febbraio | 0,09 | 0,36 | | | | |
| Marzo | 0,05 | 0,4 | | | | |
| Aprile | -0,02 | 0,38 | | | | |
| Maggio | -0,08 | 0,3 | | | | |
| Giugno | -6,89 | 0 | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 5,1240 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 02 | | | |
|--|--|------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura | | | |
| | | 1 | 1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5x5,3x28 cm | | | |
| | | 2 | 2. Sottostruttura metallica sp. 7,50 cm | | | |
| | | 3 | 3. Elemento di sostegno a L | | | |
| | | 4 | 4. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm | | | |
| | | 5 | 5. Assito in legno, sp. 3,00 cm | | | |
| | | 6 | 6. Intercapedine ventilata, sp. 3,00 cm | | | |
| | | 7 | 7. Pannelli tipo ISOTEC XL, sp. 8,00 cm | | | |
| | | 8 | 8. Isolante termoacustico in lana di legno Celenit, sp. 7,50 cm | | | |
| | | 9 | 9. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,40 cm | | | |
| | | 10 | 10. Assito in legno, sp. 2,00 cm | | | |
| | | 11 | 11. Struttura portante in acciaio | | | |
| | | 12 | 12. Placcaggio in cartongesso, sp. 2,50 cm | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | - | | 25 | 0,04 | |
| MET | Rame | 0,0012 | 4 | | 0,00 | 2000000,00 |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,03 | 0,35 | | 0,1923 | 60,00 |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,025 | | | 0,095 | 1,00 |
| ISO | Isolante in pannelli isotec XL | 0,08 | 0,024 | | 3,3333 | 50000,00 |
| CEL | Isolante CELENIT N 75 | 0,075 | 0,034 | | 1,15 | 5,00 |
| IMP | Bitume polimero su PPL sp. 4 mm | 0,004 | 0,105 | | 0,0133 | 80000,00 |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,02 | 0,35 | | 0,1282 | 60,00 |
| CAA | Camera d'aria non ventilata sp. 16 cm | 0,16 | | | 0,22 | 1,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | - | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 5,3317 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1876 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | Condensa presente < del valore limite (500 g/m ³) | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | |
| Novembre | 0,04 | 0,04 | <ul style="list-style-type: none"> MET Sup. est. LEG Interf. 1 INA Interf. 2 ISO Interf. 3 CEL Interf. 4 IMP Interf. 5 LEG Interf. 6 CAA Interf. 7 VAR Interf. 8 Sup. int. | | | |
| Dicembre | 0,08 | 0,13 | | | | |
| Gennaio | 0,08 | 0,21 | | | | |
| Febbraio | 0,06 | 0,27 | | | | |
| Marzo | 0,04 | 0,32 | | | | |
| Aprile | -0,09 | 0,23 | | | | |
| Maggio | -0,21 | 0,02 | | | | |
| Giugno | -6,78 | 0 | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 5,3317 m ² K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 04 | | | |
|--|---|---|---|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura (ballatoio) | | | |
| <p>ESTERNO</p> <p>INTERNO</p> <p>Scala 1:20</p> | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Finitura in legno resistente all'acqua, sp. 1,50 cm 2. Guaina impermeabilizzante in polietilene sp. 0,40 cm 3. Lastra FOAMGLAS® TAPERED con pend. integrata 1,1% 4. Lastra in cartongesso sp. tot 1,25 cm 5. Lastra in legno ricomposto sp. 1,25 cm 6. Lamiera grecata HI-BOND tipo A 55/P 7. Struttura portante: trave secondaria. IPE 100 e trave principale HEA 160 8. Gancio con smorzatore 9. Isolante media p in lana minerale sp. 4,50 cm 10. Doppia lastra in cartong. con iterposta barriera al vapore, sp. tot 2,50 cm 11. Tinteggiatura | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m²K] | Res. termica R [m²K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,015 | | | 0,1042 | 50,00 |
| PLA | Guaina in polietilene | 0,004 | 0,47 | | 0,0114 | 100000,00 |
| ISL | Lastra Foamglas con pendenza integrata | 0,08 | 0,038 | | 2,1053 | 100000,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| CAR | Lastra triply | 0,0125 | 0,1 | | 0,125 | 400,00 |
| INA | Camera non ventilata sp. mm 300 | 0,30 | | | 0,23 | 1,00 |
| ISL | Isolante a media densità in lana minerale | 0,045 | 0,0042 | | 1,2857 | 1,00 |
| CAR | Lastra in cartongesso Knauf A13 | 0,0125 | 0,21 | 10 | 0,0595 | 8,00 |
| CAR | Idrolastra in cartong. con barriera al vapore | 0,0125 | 0,20 | | 0,0625 | 7900,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 3,6568 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,2735 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| <p>Andamento della temperatura</p> | | | <p>Andamento della pressione</p> | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | Condensa presente < del valore limite (500 g/m²) | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m²] | Condensa [g/m²] | <p>Accumulo condensa</p> <p>Sup est. Interf. 1 PLA Interf. 2 ISL Interf. 3 VAR Interf. 4 CAR Interf. 5 INA Interf. 6 ISL Interf. 7 CAR Interf. 8 Sup int.</p> <p>- Interfaccia 3 CONDENSAZIONE EVAPORAZIONE</p> | | | |
| Novembre | 0,32 | 0,32 | | | | |
| Dicembre | 1,51 | 1,83 | | | | |
| Gennaio | 1,82 | 3,65 | | | | |
| Febbraio | 1,24 | 4,89 | | | | |
| Marzo | -0,03 | 4,86 | | | | |
| Aprile | -1,46 | 3,39 | | | | |
| Maggio | -2,78 | 0,61 | | | | |
| Giugno | -34,18 | 0 | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m²K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 3,6568 m²K/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



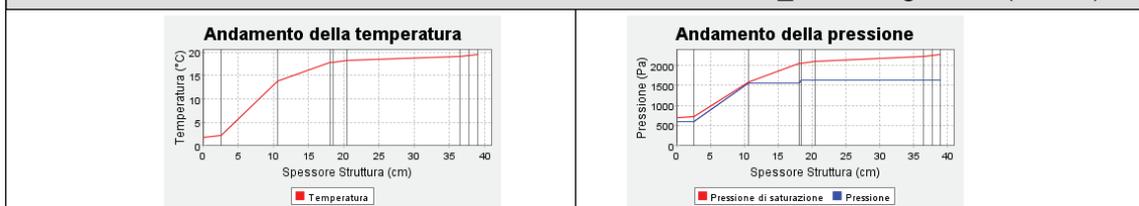
| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | CV. 02 |
|-------------------------|--------------------|---|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Verticale | EL. TECNICO Parete perimetrale sottotetto |

1. Rivestimento polimerico tipo HPL, sp. 0,60 cm
2. Intercapedine d'aria, sp. 3,00 cm
3. Pannelli tipo ISOTEC XL con profilo metallico integrato, sp. 8,00 cm
4. Tessuto non tessuto
5. Strato resiliente in polietilene, guaina imperm. sp. 0,40 cm
6. Assito in legno, sp. 3,00 cm
7. Intercapedine ventilata, sp. 3,00 cm
8. Pannelli tipo ISOTEC XL, sp. 8,00 cm
9. Isolante termoacustico in lana di legno Celenit, sp. 7,50 cm
10. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,40 cm

Scala 1:20

| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
|---|--|---------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/he resistenza termica di emissione | - | | 25 | 0,04 | |
| PLA | Laminato | 0,0006 | 4 | | 0,003 | 10000,00 |
| INA | Camera debolmente ventilata | 0,025 | 0,35 | | 0,095 | 1,00 |
| ISO | Pannelli isotec XL | 0,08 | | | 3,3333 | 50000,00 |
| CEL | CELENIT N 75 | 0,075 | 0,024 | | 1,15 | 5,00 |
| IMP | Bitume polimero su PPL sp. 4 mm | 0,004 | 0,034 | | 0,0133 | 80000,00 |
| LEG | Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri | 0,02 | 0,105 | | 0,1282 | 60,00 |
| CAA | Camera d'aria non ventilata sp. 16 cm | 0,16 | | | 0,22 | 1,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | - | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 5,2319 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1911 |

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser)



RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** Condensa non presente

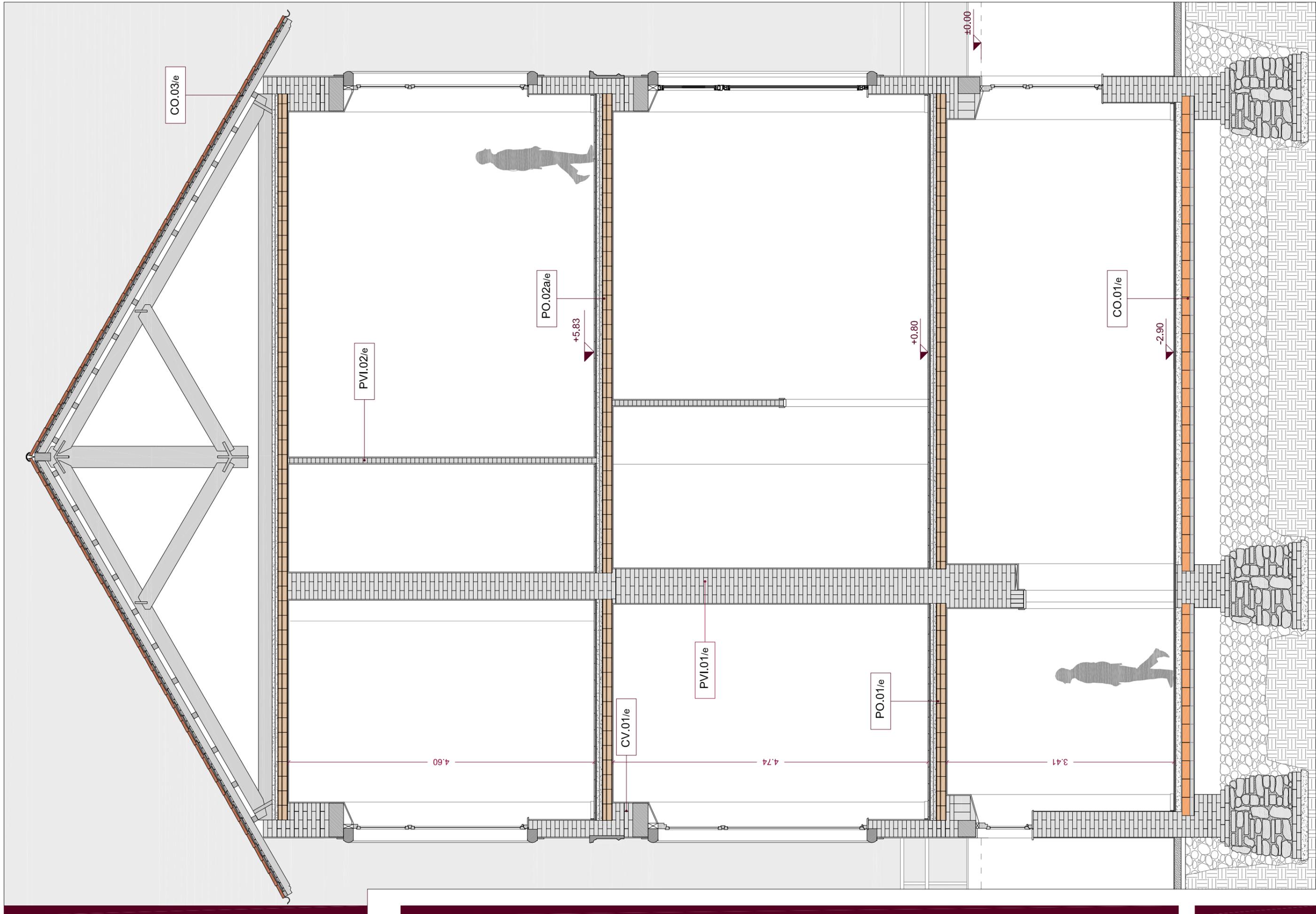
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] |
|----------|--------------------------------------|------------------------------|
| Novembre | - | - |
| Dicembre | - | - |
| Gennaio | - | - |
| Febbraio | - | - |
| Marzo | - | - |
| Aprile | - | - |
| Maggio | - | - |
| Giugno | - | - |

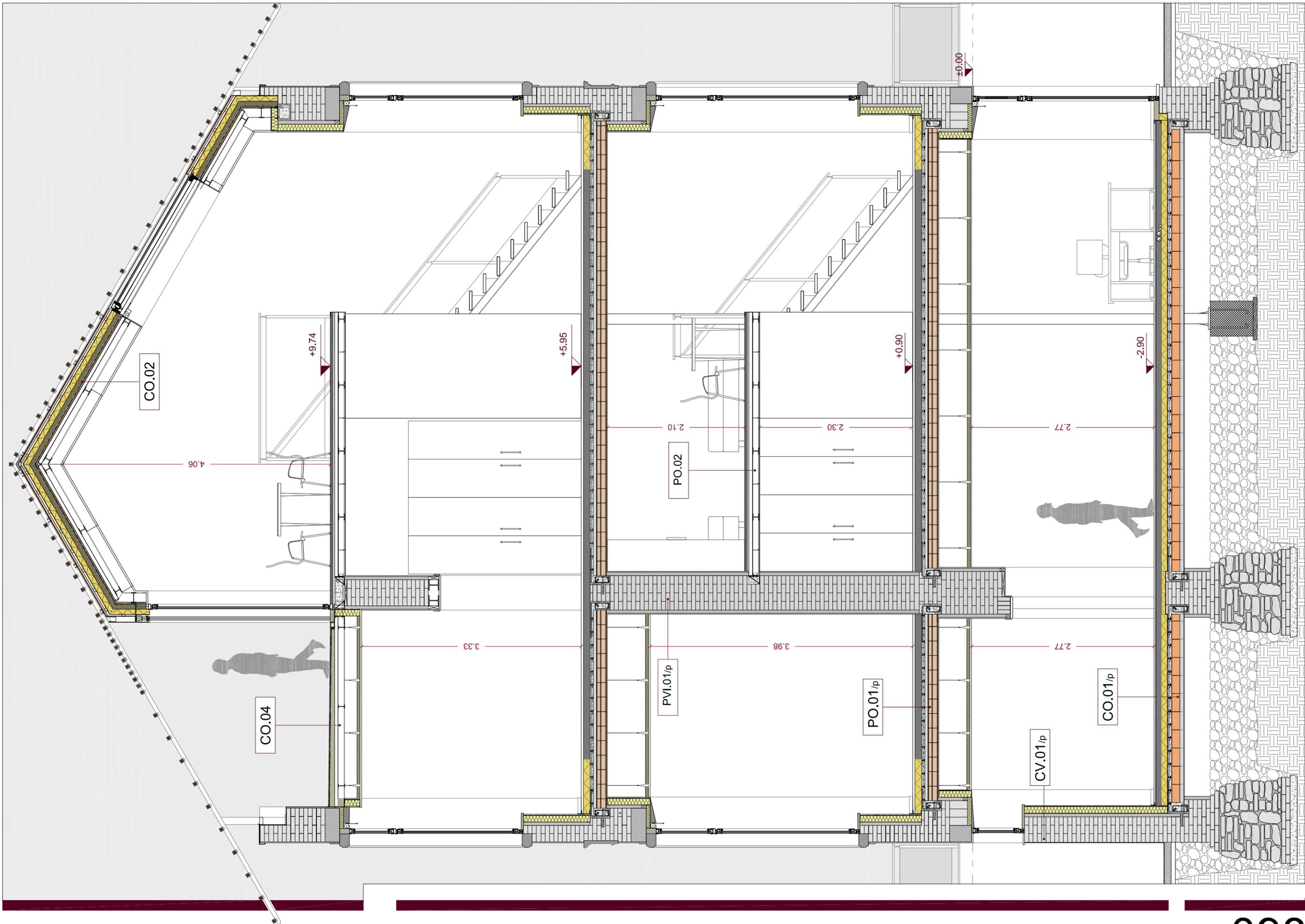
RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI

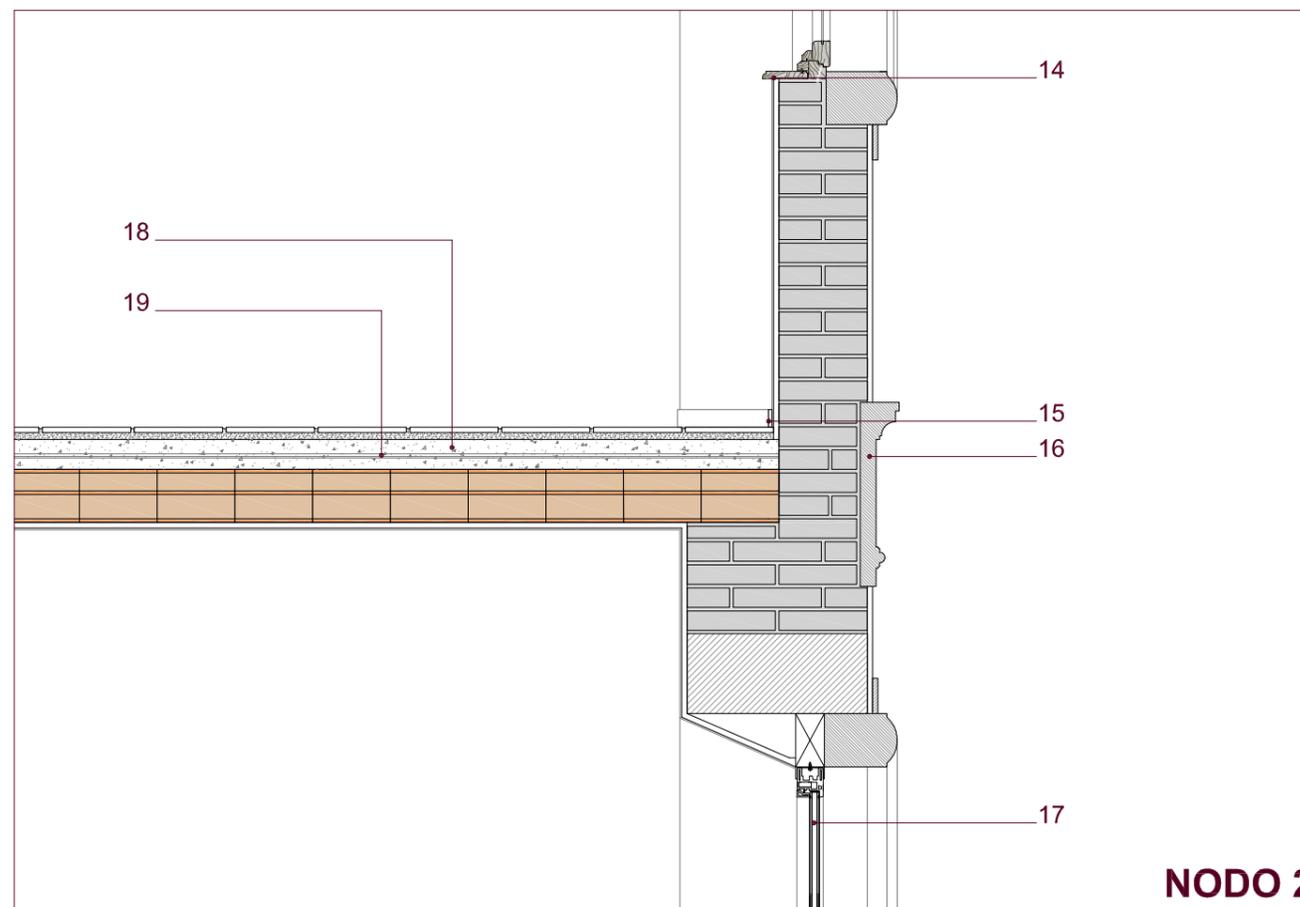
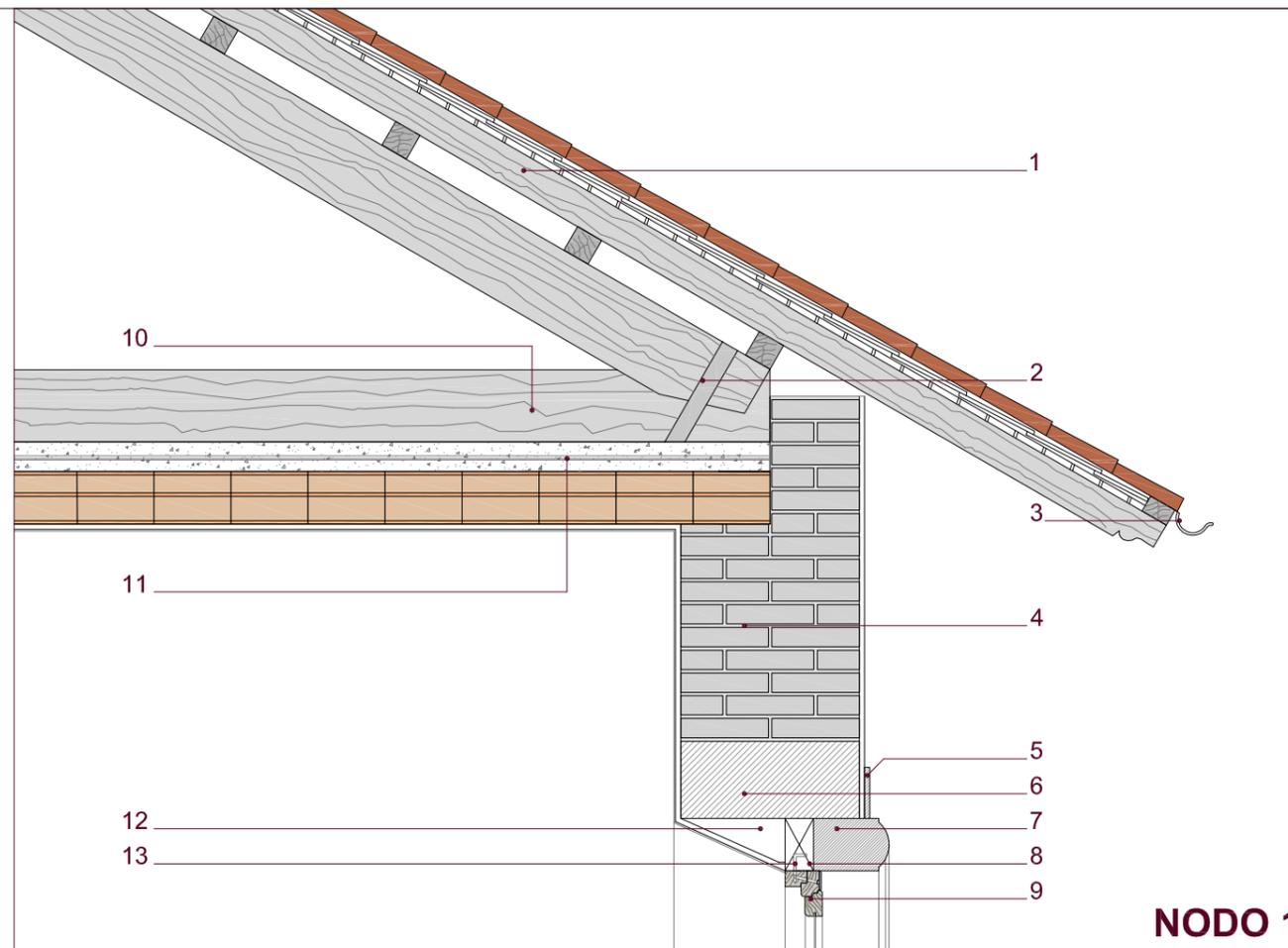
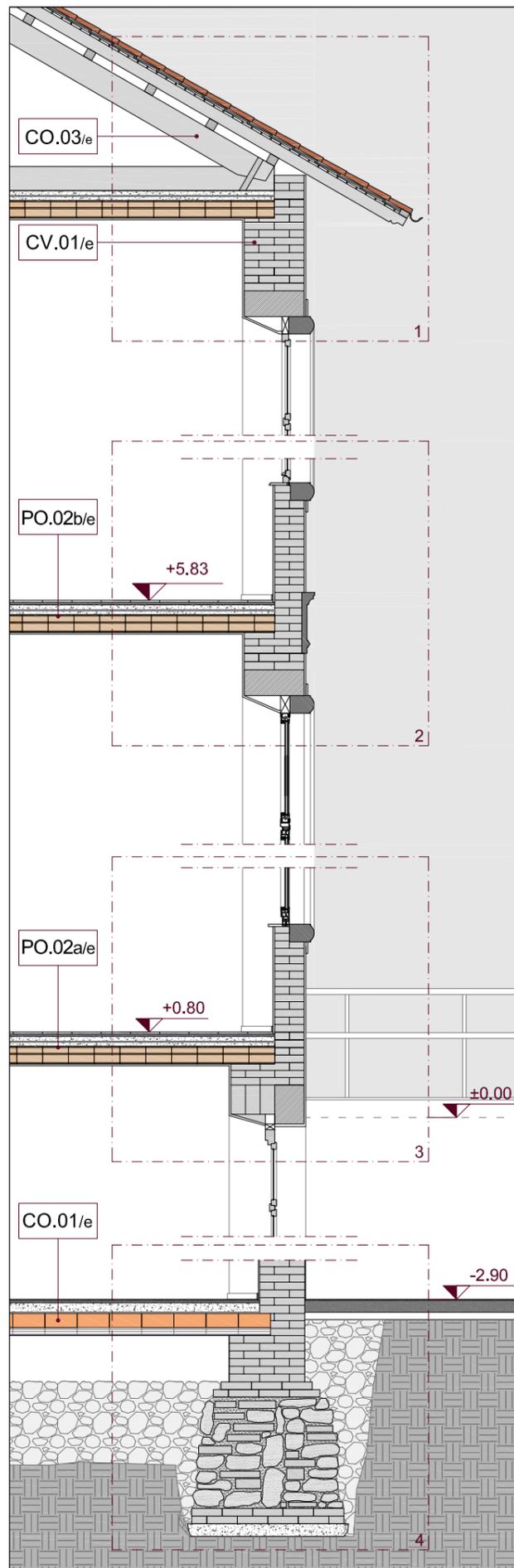
| | |
|--|---------------------------|
| Resistenza termica minima accettabile: | 2,1385 m ² K/W |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | 5,2319 m ² k/W |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,34 W/(m²K)**

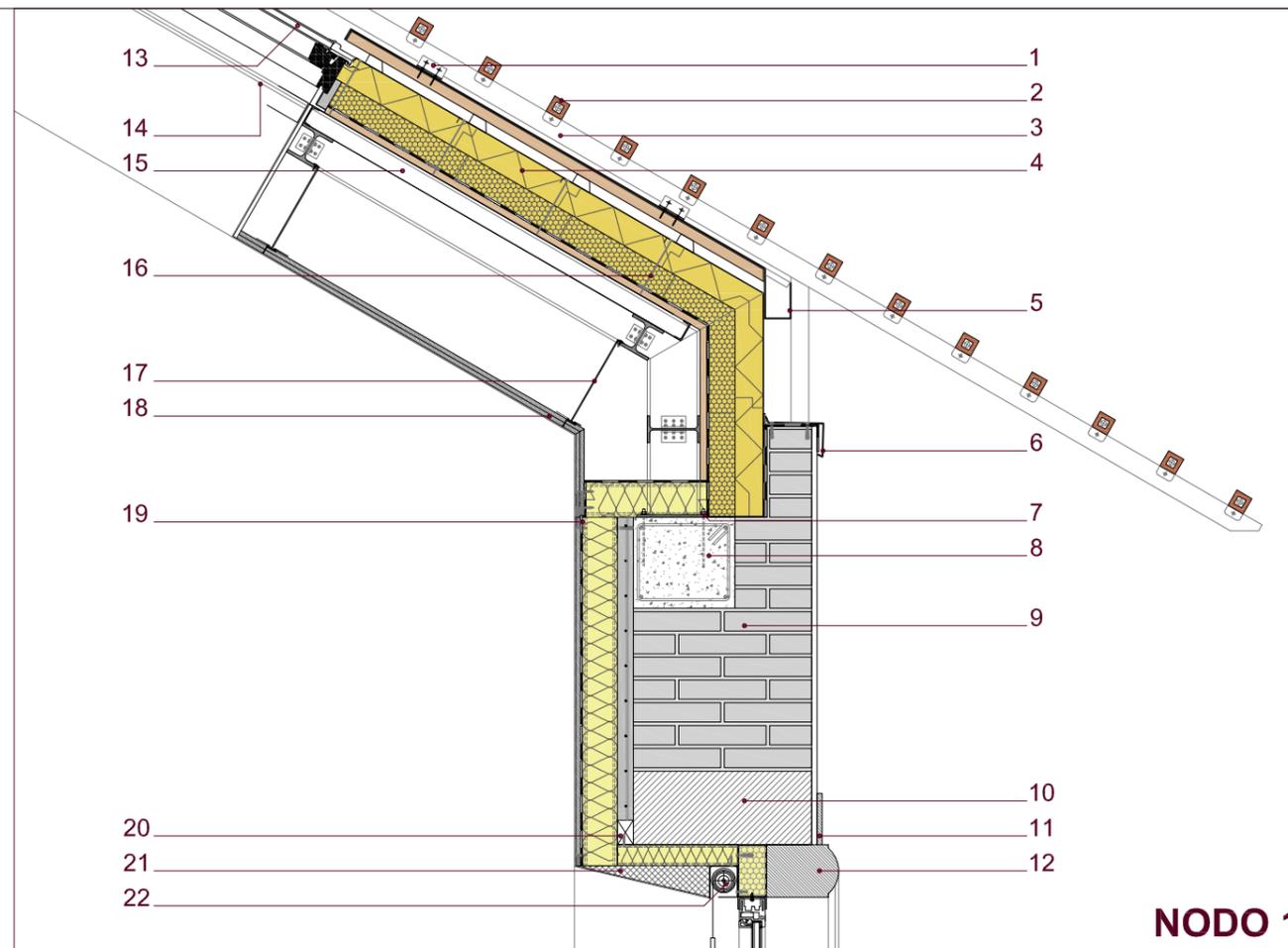
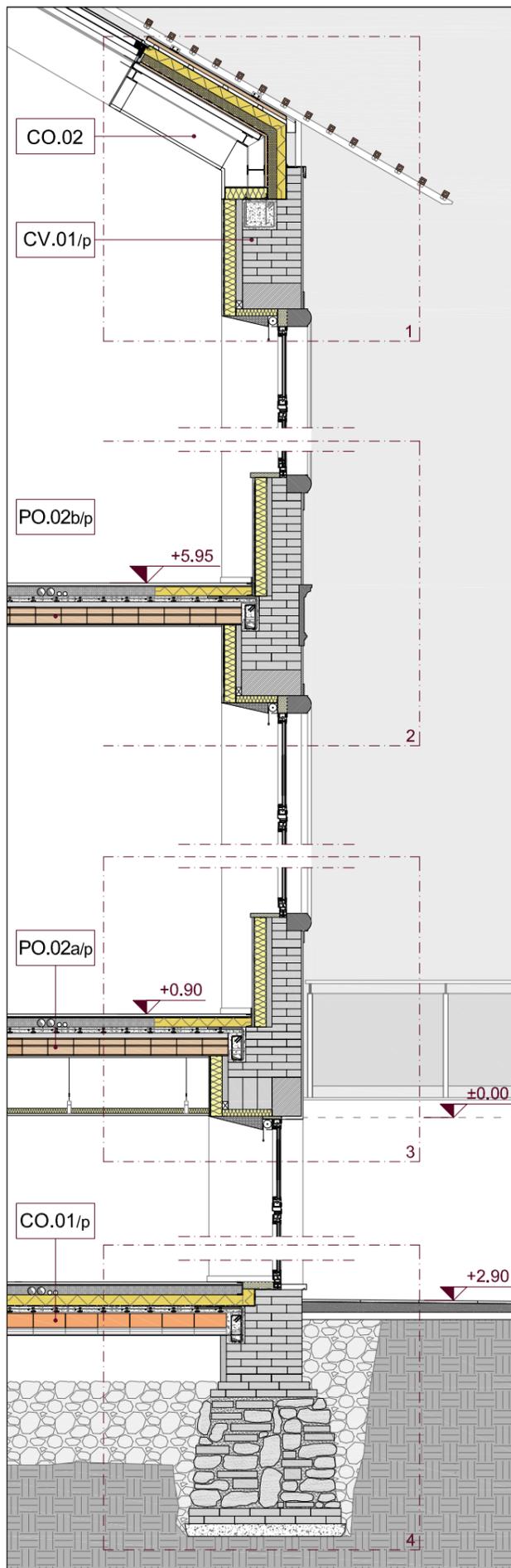
** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



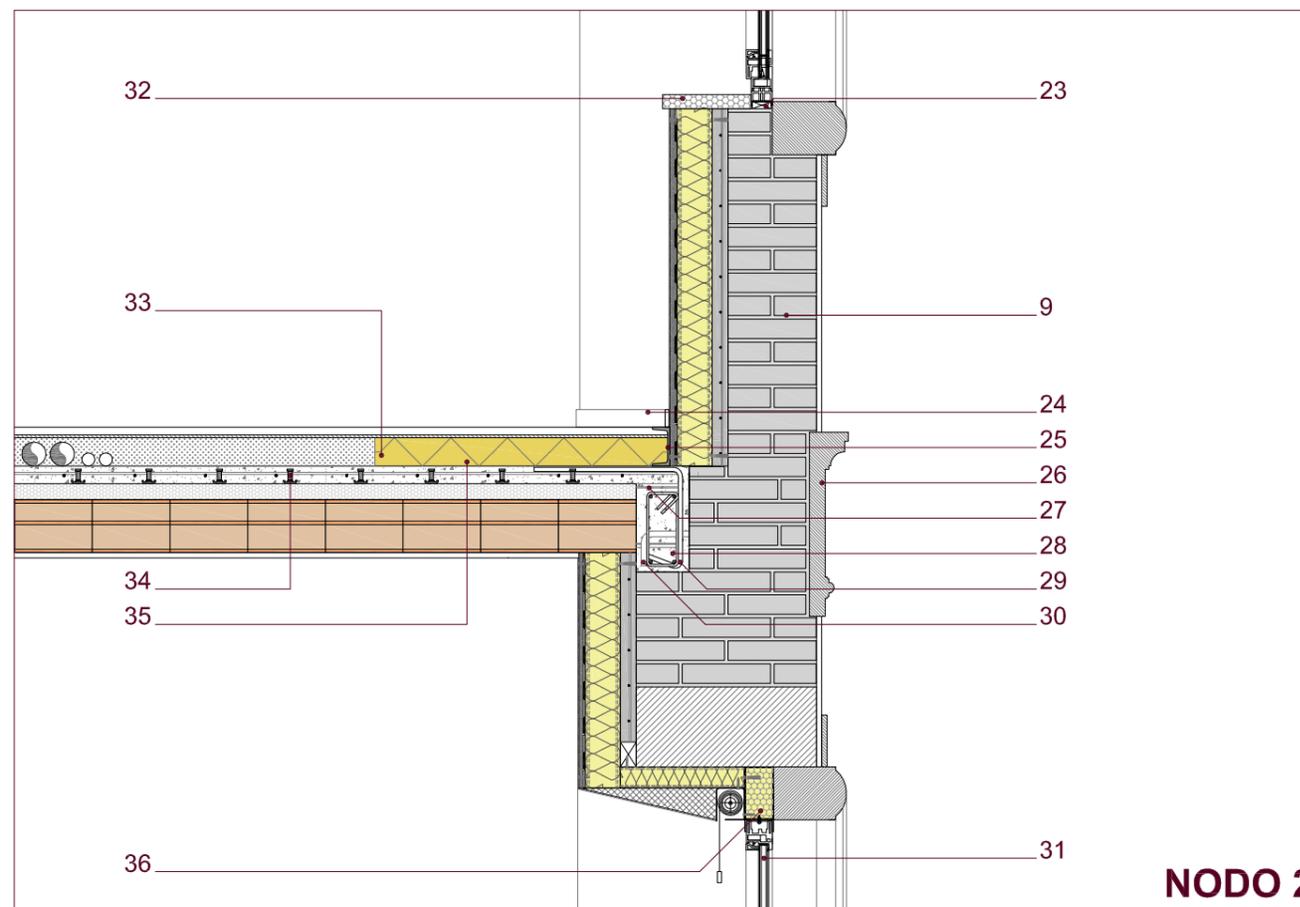




- 1 Chiusura orizzontale CO.03/e, copertura:
- Strato di finitura: tegole marsigliesi
 - Listelli sottomanto
 - Assito in legno, sp. 2.00 cm
 - Travetto in legno, sp. 10.00 cm
 - Puntoni di sostegno in legno, sp. 22.00 cm
 - Arcarecci in legno, sp. 8.00 cm
- 2 Elemento di connessione catena-puntone
- 3 Canale di gronda
- 4 Partizione orizzontale CV.01/e, muratura perimetrale:
- Finitura interna: tinteggiatura
 - Intonaco di calce e gesso, sp. 1,50 cm
 - Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm
 - Finitura esterna: intonaco in malta di calce, sp. 1.50 cm
- 5 Elemento prefabbricato: modanatura
- 6 Architrave in pietra
- 7 Cornice in pietra artificiale
- 8 Falso telaio ligneo
- 9 Serramento in legno: vetro singolo
- 10 Catena lignea, h. 20 cm
- 11 Solaio di copertura:
- Getto di completamento in cls, sp. 7.00 cm
 - Profilo metallico NP 16
 - Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm)
 - Intonaco in malta di calce
 - Finitura interna: tinteggiatura
- 12 Architrave in legno
- 13 Zanca metallica
- 14 Davanzale in legno
- 15 Battiscopa
- 16 Cornice marcapiano
- 17 Serramento metallico 5/12/5
- 18 Partizione orizzontale PO.02a/e solaio di interpiano:
- Finitura interna: pavimento in cotto, sp. 1.70 cm
 - Massetto di sottofondo in sabbia-cemento, sp. 2.00 cm
 - Getto di completamento in cls, sp. 7.00 cm
 - Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm)
 - Intonaco interno in calce e gesso, sp. 1.50 cm
 - Finitura: tinteggiatura
- 19 Profilo metallico NP 18

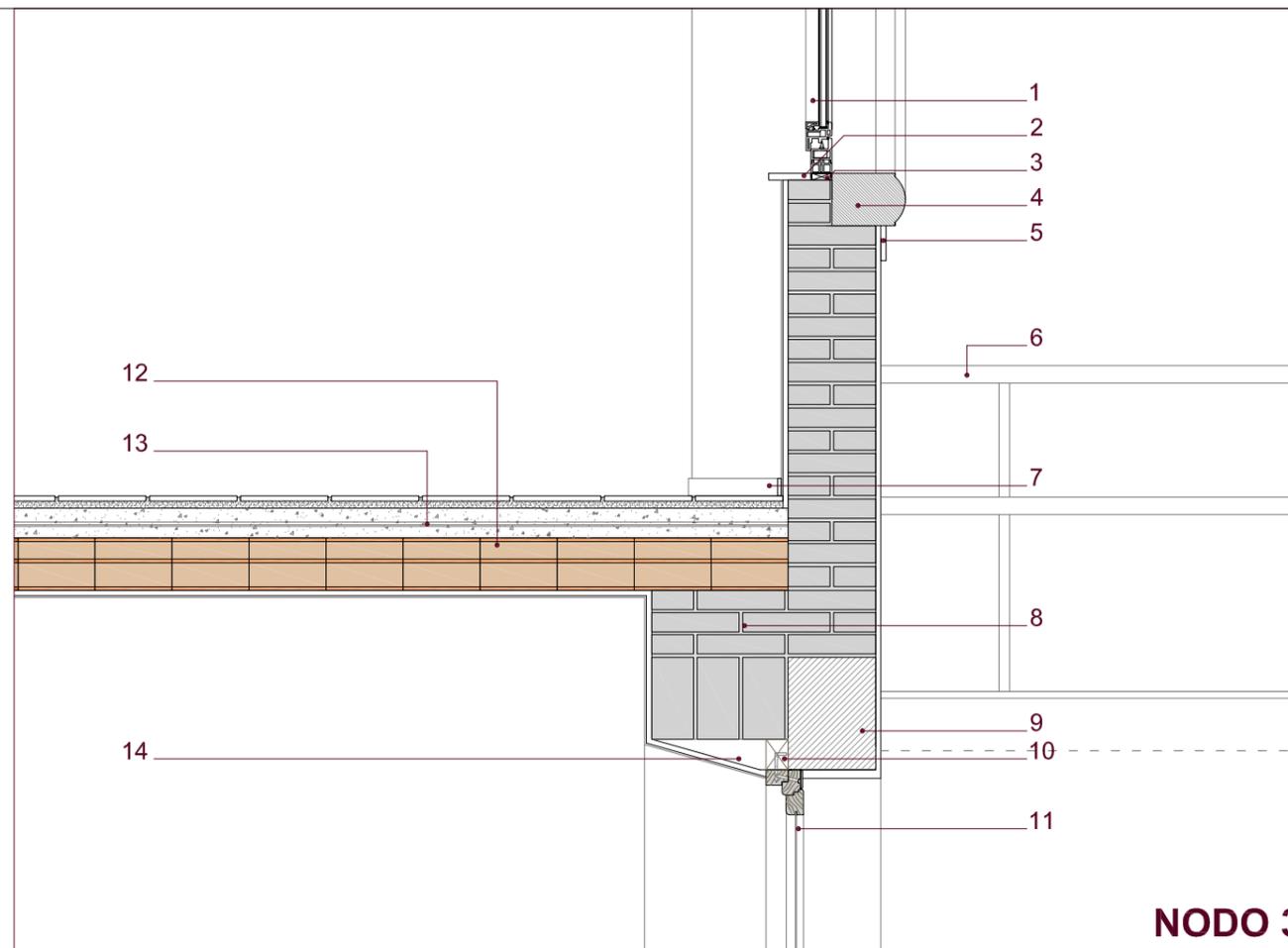
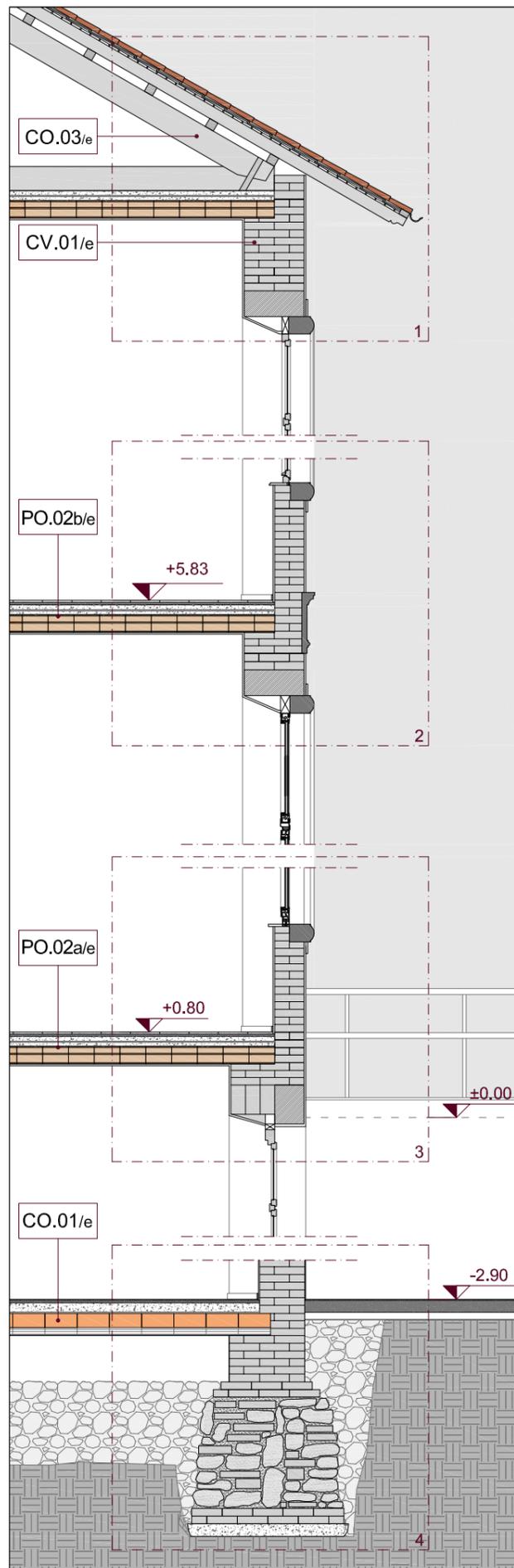


NODO 1

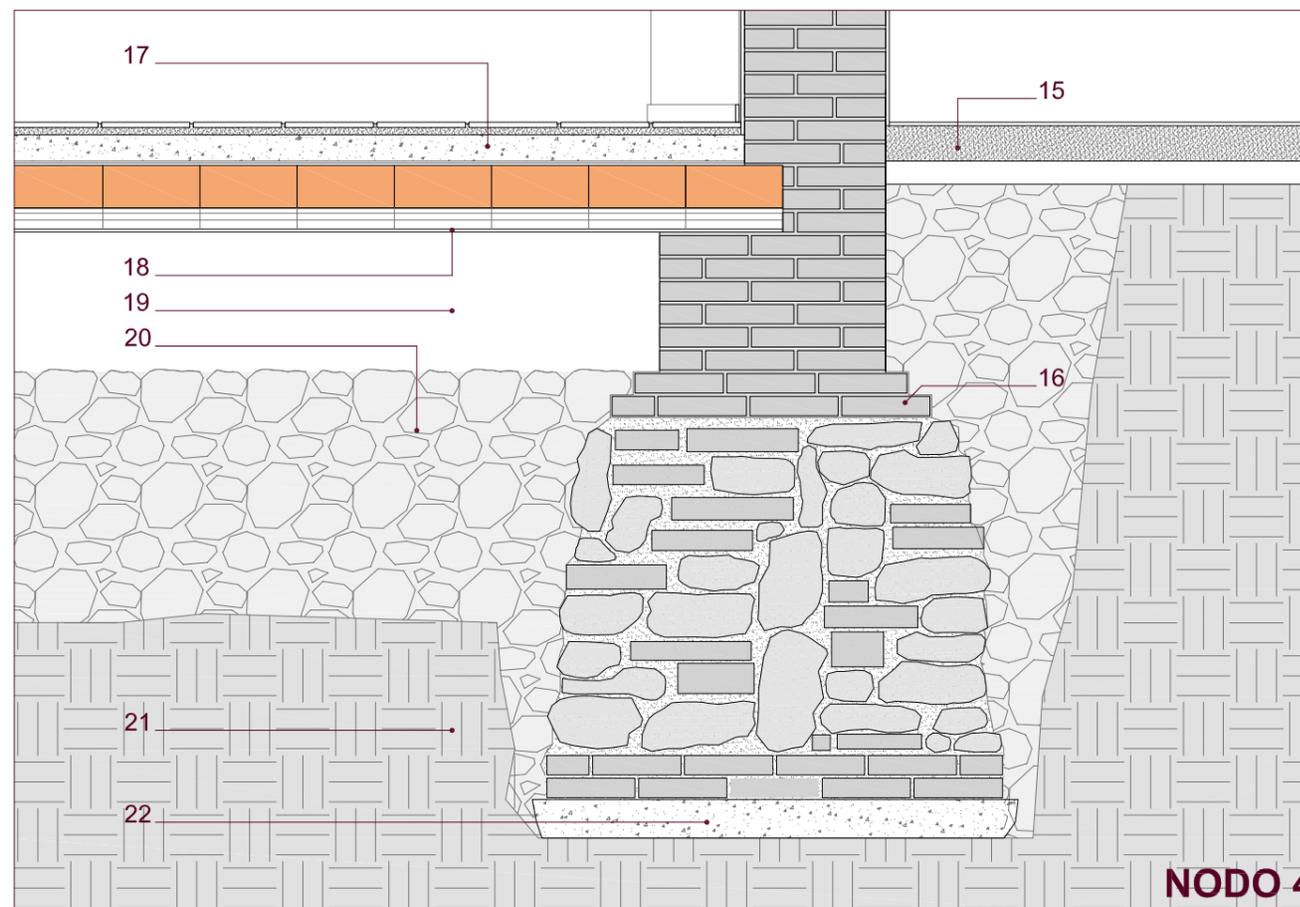


NODO 2

- 1 Elemento a L di sostegno della sottostruttura metallica
- 2 Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5 x 5,3 x 28 cm
- 3 Sottostruttura metallica
- 4 Partizione orizzontale CO.02, copertura camere:
 - Lastra di rame Tecu, sp. 0.54 cm
 - Assito in legno, sp. 3.00 cm
 - Intercapedine d'aria, sp. 3.00 cm
 - Pannelli tipo ISOTEC XL con profilo metallico integrato, sp. 8.00 cm
 - Pannello isolante termoacustico in lana di legno Celenit N 75, sp. 7.50 cm
 - Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0.40 cm
 - Assito in legno, sp. 2.00 cm
- 5 Canale di gronda
- 6 Scossalina metallica
- 7 Piastra saldata alla base del portale e collegata alla trave di bordo
- 8 Cordolo armato di collegamento alla muratura con tirafondi in acciaio
- 9 Partizione orizzontale CV.01/p, muratura perimetrale:
 - Strato di finitura interna: tinteggiatura
 - Idrolastra Knauf con barriera al vapore in lamina di alluminio, sp. 1.25 cm
 - Isolante semirigido in lana minerale sp. 10.00 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$
 - Intonaco armato con rete elettrosaldata $\varnothing 2 \text{ mm}$, maglia 5x5 cm, sp. 4 cm
 - Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm
 - Finitura esterna: intonaco in malta di calce, sp. 1.50 cm
- 10 Architrave in pietra
- 11 Elemento prefabbricato: modanatura
- 12 Cornice in pietra artificiale
- 13 Serramento per tetti standard bassoemissivo Velux
- 14 Guida del sistema di oscuramento interno
- 15 Struttura portante:
 - Lamiera grecata in acciaio HI-BOND A 55 P 600, h. 5.50 cm, sp. 1 mm
 - Trave secondaria in acciaio, profilo HEA 100
 - Portale in acciaio, profilo HEA 160
- 16 Fissaggio con tirafondi per legno
- 17 Supporto rigido in acciaio per controsoffitti agganciato alle travi secondarie
- 18 Doppia lastra di gesso rivestito
- 19 Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus)
- 20 Elemento in legno a perdere
- 21 Architrave isolante tipo Ytong Thermoblocco
- 22 Sistema di oscuramento interno: tenda avvolgibile
- 23 Falso telaio
- 24 Battiscopa, h. 5.00 cm
- 25 Profilo metallico di contenimento UPN 160
- 26 Cornice marcapiano
- 27 Profilo metallico NP 18
- 28 Cordolo di collegamento armato con 4 $\varnothing 14$ e staffe
- 29 Collegamento solaio-muratura ogni 60 cm ripiegato nel cordolo
- 30 Ferro di collegamento cordolo-muratura posto ogni 60 cm
- 31 Serramento metallico 5/12/5
- 32 Davanzale isolato tipo Ytong
- 33 Partizione orizzontale PO.02b/p, solaio di interpiano:
 - Pavimento in linoleum con adesivo specifico Ultrabon Eco Mapei, sp. 2.00 cm
 - Massetto in argilla espansa + riscaldam. a pavimento, sp. tot 2.50 cm
 - Massetto alleggerito per impianti in argilla espansa, sp. 6.00 cm
 - Soletta collaborante in cls sp. 5.00 cm con rete elettrosaldata
 - Alleggerimento: riempimento in polistirene, sp. 4.50 cm
 - Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm)
 - Finitura interna: intonaco in malta di calce, sp. 1.50 cm
- 34 Strato isolante per mitigare l'effetto del ponte termico
- 35 Connettore a piolo Tecnaria, h. 4.00 cm
- 36 Profilo metallico di sostegno del serramento con schiuma isolante

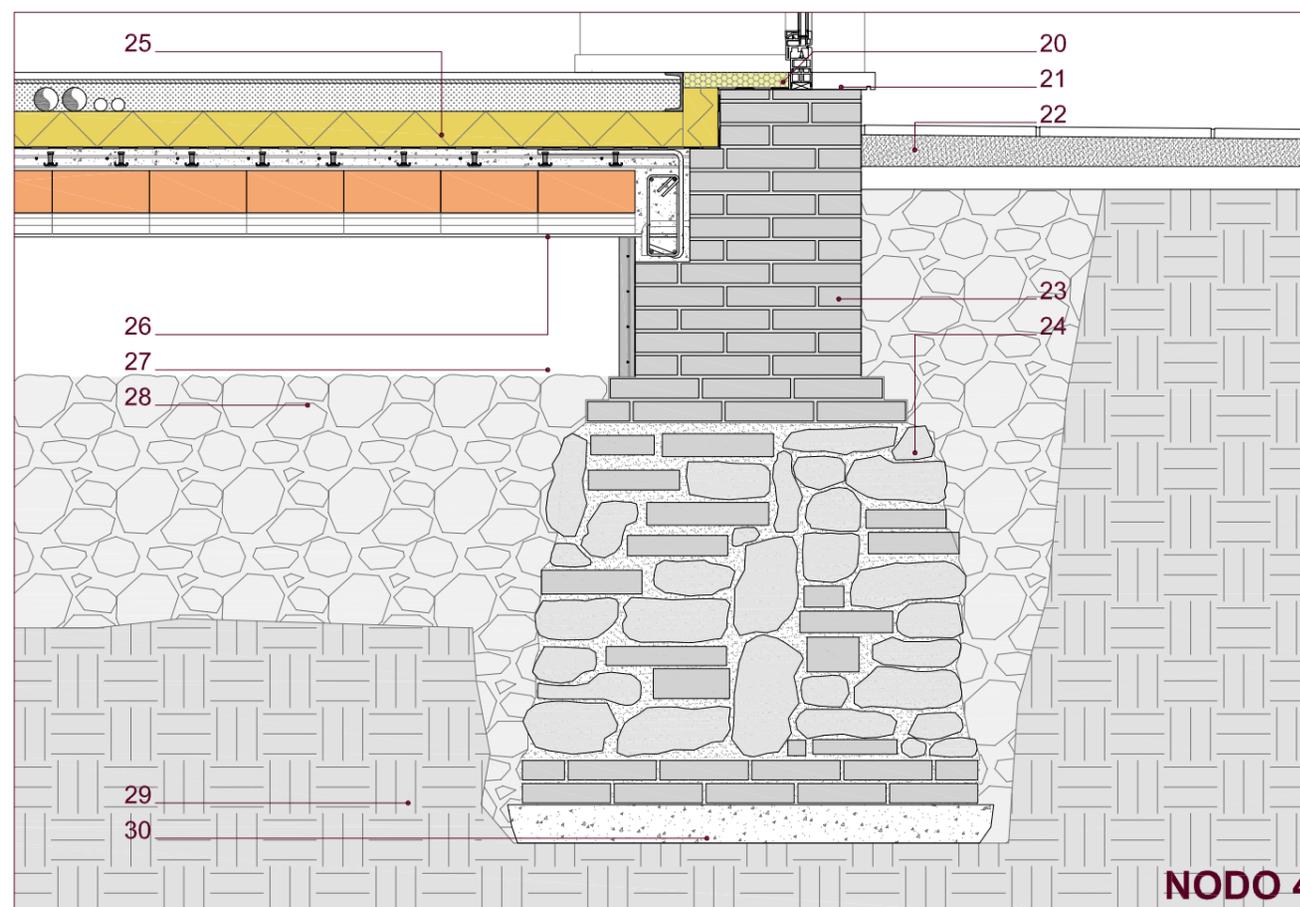
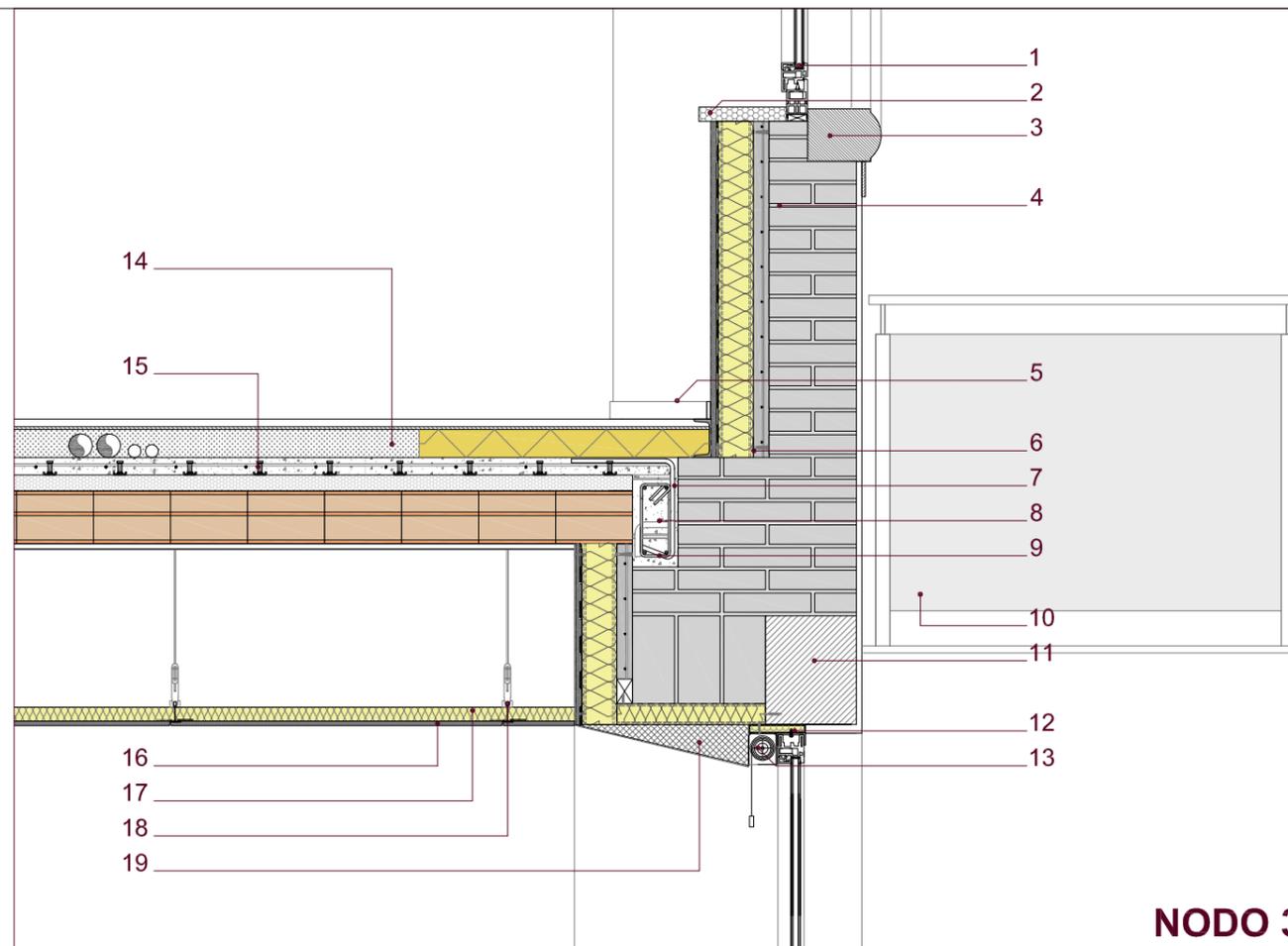
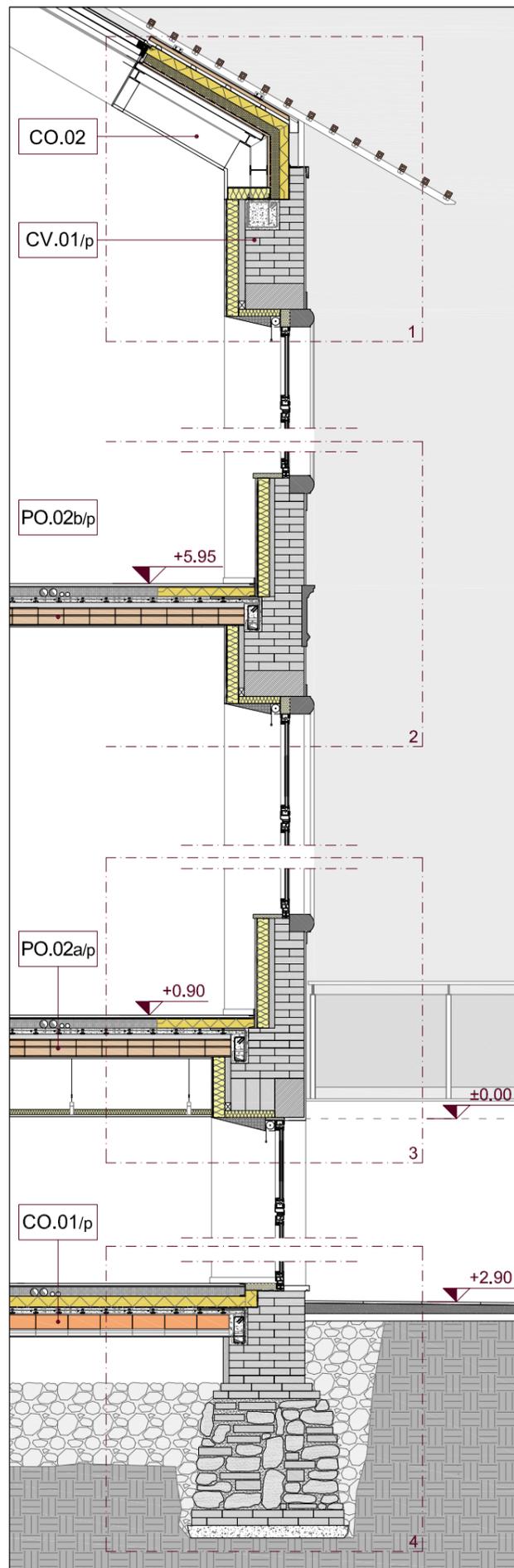


NODO 3

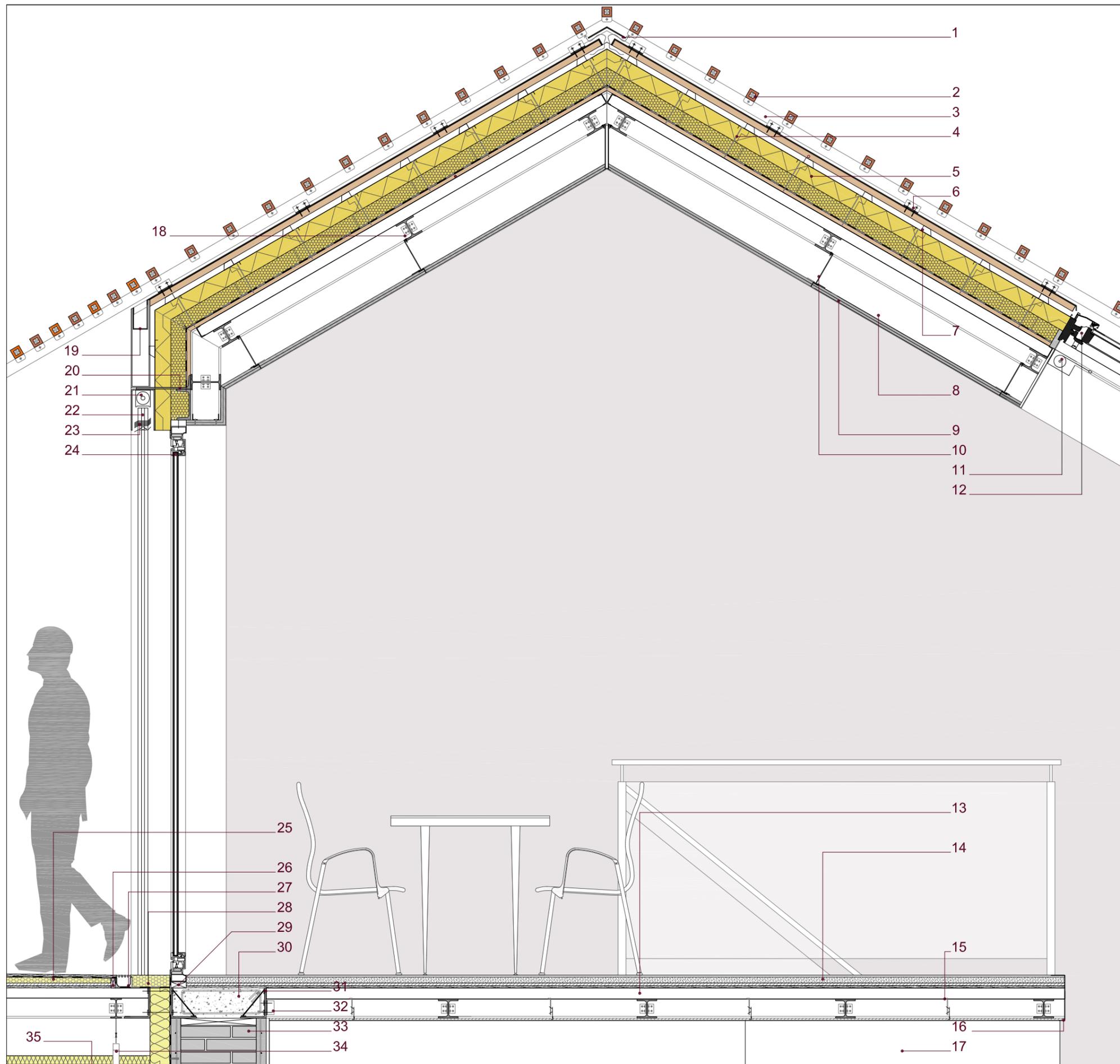


NODO 4

- 1 Serramento metallico 5/12/5
- 2 Davanzale in pietra
- 3 Falso telaio
- 4 Cornice in pietra artificiale
- 5 Elemento prefabbricato: modanatura
- 6 Parapetto metallico esistente
- 7 Battiscopa
- 8 Partizione orizzontale CV.01/e, muratura perimetrale:
 - Finitura esterna: intonaco in malta di calce, sp. 1.50 cm
 - Muratura portante in mattoni pieni, sp. 67 cm
 - Intonaco di calce e gesso, sp. 1.50 cm
 - Finitura interna: tinteggiatura
- 9 Architrave in pietra
- 10 Falso telaio in legno con zanca metallica
- 11 Serramento in legno: vetro singolo
- 12 Partizione orizzontale PO.02a/e, solaio di interpiano:
 - Finitura interna: pavimento in cotto, sp. 1.70 cm
 - Massetto di sottofondo in sabbia-cemento, sp. 2.00 cm
 - Getto di completamento in cls, sp. 8.00 cm
 - Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm)
 - Intonaco di calce e gesso, sp. 1,50 cm
 - Finitura: tinteggiatura
- 13 Profilo metallico NP 18
- 14 Architrave in legno
- 15 Pavimentazione esterna:
 - Finitura esterna: in battuto di cemento, sp. 1,50 cm
 - Massetto in cls, sp. 10.00 cm
 - Strato di sottofondo, sp. 6.50 cm
- 16 Fondazione esistente
- 17 Chiusura orizzontale CO.01/e, solaio controterra:
 - Finitura interna: pavimento in cotto, sp. 1.70 cm
 - Massetto di sottofondo in sabbia-cemento, sp. 2.00 cm
 - Getto di completamento in cls, sp. 8.00 cm
 - Volta in mattoni pieni, sp. 13.50 cm
- 18 Profilo metallico NP 20
- 19 Intercapedine d'aria, sp. 40 cm
- 20 Ghiaia di riporto
- 21 Terreno
- 22 Magrone, sp. 10.00 cm



- 1 Serramento metallico 5/12/5
- 2 Davanzale isolato tipo Ytong
- 3 Cornice in pietra artificiale
- 4 Partizione orizzontale CV.01/p, muratura perimetrale:
 - Strato di finitura interna: tinteggiatura
 - Idrolastra Knauf con barriera al vapore in lamina di alluminio, sp. 1.25 cm
 - Isolante semirigido in lana minerale sp. 10.00 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$
 - Intonaco armato con rete elettrosaldata $\text{Ø} 2 \text{ mm}$, maglia 5x5 cm, sp. 4 cm
 - Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm
 - Finitura esterna: intonaco in malta di calce, sp. 1.50 cm
- 5 Battiscopa
- 6 Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus)
- 7 Collegamento solaio-muratura ogni 60 cm ripiegato nel cordolo
- 8 Ferro di collegamento cordolo-muratura posto ogni 60 cm
- 9 Cordolo di collegamento armato con 4 $\text{Ø}14$ e staffe
- 10 Parapetto metallico esterno
- 11 Architrave in pietra
- 12 Profilo metallico di sostegno del serramento con schiuma isolante integrata
- 13 Sistema di oscuramento interno: tenda avvolgibile
- 14 Partizione orizzontale PO.02a/p, solaio di interpiano:
 - Pavimento in linoleum con adesivo specifico Ultrabon Eco Mapei, sp. 2.00 cm
 - Massetto in argilla espansa + riscaldam. a pavimento, sp. tot 2.50 cm
 - Massetto alleggerito per impianti in argilla espansa, sp. 6.00 cm
 - Soletta collaborante in cls sp. 5.00 cm con rete elettrosaldata
 - Alleggerimento: riempimento in polistirene, sp. 4.50 cm
 - Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm)
 - Finitura interna: intonaco in calce e gesso, sp. 1.50 cm
- 15 Connettore a piolo Tecnaria, h. 4.00 cm
- 16 Lastra di gesso rivestito
- 17 Orditura metallica con isolante acustico in lana di roccia, sp. 4 cm
- 18 Supporto in acciaio per controsoffitti formato da ganci con smorzatori appesi
- 19 Architrave isolante tipo Ytong Thermoblocco
- 20 Soglia isolante tipo Ytong
- 21 Soglia in pietra con rompigoccia
- 22 Pavimentazione esterna:
 - Strato di finitura: lastre di pietra, 50 x 100 cm, sp. 2.50 cm
 - Massetto di pendenza (1%)
 - Strato di sottofondo, sp. 6.50 cm
- 23 Muratura in mattoni pieni esistente, sp. 67 cm
- 24 Fondazione esistente
- 25 Chiusura orizzontale CO.01/p, solaio controterra:
 - Pavimento in linoleum con adesivo specifico Ultrabon Eco Mapei, sp. 2.00 cm
 - Massetto in argilla espansa + riscaldam. a pavimento, sp. tot 2.50 cm
 - Massetto alleggerito per impianti in argilla espansa, sp. 6.00 cm
 - Isolante in fibre di legno pressate Celenit, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$
 - Strato resiliente in polietilene, sp. 0.40 cm
 - Volta in mattoni pieni, sp. 13.50 cm
- 26 Profilo metallico NP 20
- 27 Intercapedine d'aria, sp. 40 cm
- 28 Ghiaia di riempimento
- 29 Terreno
- 30 Magrone, sp. 10.00 cm



- 1 Elemento di colmo
- 2 Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5 x 5,3 x 28 cm
- 3 Sottostruttura metallica
- 4 Fissaggio con tirafondi per legno
- 5 Partizione orizzontale CO.02, copertura camere:
 - Lastra di rame Tecu, sp. 0.54 cm
 - Assito in legno, sp. 3.00 cm
 - Intercapedine d'aria, sp. 3.00 cm
 - Pannelli tipo ISOTEC XL con profilo metallico integrato, sp. 8.00 cm
 - Pannello isolante termoacustico in lana di legno Celenit N 75, sp. 7.50 cm
 - Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0.40 cm
 - Assito in legno, sp. 2.00 cm
- 6 Elemento a L di sostegno della sottostruttura metallica
- 7 Correntino con nervatura rompigoccia in acciaio aluzinc, traforato
- 8 Controsoffitto
- 9 Doppia lastra di gesso rivestito
- 10 Supporto rigido in acciaio per conotrosoffitti agganciato alle travi secondarie
- 11 Sistema di oscuramento interno: tenda avvolgibile
- 12 Serramento per tetti standard bassoemissivo Velux
- 13 Struttura portante:
 - Lamiera grecata in acciaio HI-BOND A 55 P 600, h. 5.50 cm, sp. 1 mm
 - Trave secondaria in acciaio, profilo HEA 100
 - Portale in acciaio, profilo IPE 160
- 14 Partizione interna orizzontale PO.02, soppalco:
 - Finitura interna: pavimento in resina, sp. 1.00 cm
 - Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 3.00 cm
 - Lastra in cartongesso, sp. 1,25 cm
 - Lastra in legno ricomposto, sp. 1,25 cm
 - Controsoffitto in gesso rivestito, sp. 1.25
 - Finitura: tinteggiatura
- 15 Struttura di supporto agganciata alla lamiera con pendini e ganci a molla
- 16 Profilo metallico di contenimento
- 17 Parete divisoria in cartongesso tipo Knauf, sp. 20 cm
- 18 Imbullonatura
- 19 Canale di gronda
- 20 Profilo metallico a L di sostegno
- 21 Avvolgibile
- 22 Profilo di sostegno oscuramento esterno
- 23 Sistema di oscuramento esterno
- 24 Serramento metallico 5/12/5
- 25 Chiusura orizzontale CO.04, ballatoio:
 - Finitura in legno resistente all'acqua, sp. 1,50 cm
 - Guaina impermeabilizzante in polietilene, sp. 0.40 cm
 - Lastra FOAMGLAS® TAPERED con pendenza integrata 1,1%
 - Lastra in cartongesso, sp. 1,25 cm
 - Lastra in legno ricomposto, sp. 1,25 cm
- 26 Elemento in legno di sostegno
- 27 Canale di scolo
- 28 Soglia isolata tipo Ytong
- 29 Falsotelaio
- 30 Cordolo armato di collegamento alla muratura con tirafondi in acciaio
- 31 Profilo a L di collegamento muratura-profili metallici
- 32 Piastra per tirafondi
- 33 Partizione interna verticale PVI.01/p, parete divisoria:
 - Intonaco armato con rete elettrosaldata Ø 2 mm, maglia 5x5 cm, sp. 4 cm
 - Muratura portante in mattoni pieni, sp. 38 cm
 - Intonaco in calce e gesso, sp. 1.50 cm
- 34 Gancio con smorzatore
- 35 Controsoffitto in cartongesso con isolante semirigido in lana minerale





14.2. Il progetto tecnologico per lo spazio ipogeo

Il secondo tema trattato in ambito tecnologico è quello della definizione del sistema tecnologico delle nuove costruzioni e dei nuovi elementi tecnici.

L'obiettivo perseguito è stato quello di progettare delle chiusure (orizzontali e verticali) dalle elevate caratteristiche prestazionali ossia dotate di una notevole resistenza termica, oltre che di un elevato isolamento acustico, nell'ottica di minimizzazione dei fabbisogni energetici e di una massimizzazione delle condizioni di comfort per l'utenza.

Per lo studio di tali soluzioni tecnologiche si è optato per l'impiego di tecniche stratificate a secco: tale scelta consente di poter assemblare i vari strati di diversi spessori a seconda delle necessità.

Oltre ai vantaggi costruttivi e prestazionali se ne aggiungono numerosi altri relativi alle tre fasi principali del ciclo di vita degli edifici:

- durante le fasi *costruttive* la leggerezza dei componenti semplifica le operazioni di costruzione diminuendo i tempi e quindi i costi di realizzazione;
- nel corso della *vita* dell'edificio le operazioni di sostituzione e manutenzione sono facilitate dal fatto che gli impianti scorrono in intercapedini dedicate che restano dunque comodamente ispezionabili;
- la separazione fra la struttura portante e i vari elementi tecnici agevola le operazioni di *dismissione* degli edifici oltre che il recupero dei materiali costruttivi dopo la demolizione.

14.2.1 Verifiche prestazionali

Per quanto riguarda le verifiche prestazionali delle nuove chiusure si è seguito lo stesso procedimento descritto per le classi di unità tecnologiche dell'esistente, redigendo ulteriori schede di calcolo della trasmittanza e della presenza di condensa.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 07 | | | |
|--|---|---|--|---------------|----------------|----------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura | | | |
| <p>Scala 1:20</p> | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Strato di terreno, sp. 7.00 cm 2. Geotessuto in tnt 3. Strato drenante in lapillo vulcanico, sp. 2.00 cm 4. Elem. per tetto giardino in materiale plastico sp. 4.00 cm 5. Guaina impermeabiliz. + tessuto antiradice, sp. 0,5 cm 6. Pannello isolante in fibre di legno pressate sp. 6.00 cm 7. Getto di completamento in cls, sp. 5,00 cm 8. Lamiera grecata tipo HI-BOND A 55 P 600 9. Struttura portante: trave secondaria HEA 220 10. Struttura controsoffitto con pendini e ganci a molla 11. Isolamento acustico in lana minerale, sp. 4.00 cm 12. Lastra di gesso rivestito, sp. 1,25 cm | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ | Conduttanza C | Res. termica R | Res. al vapore μ |
| | 1/he resistenza termica di emissione | - | | 25 | 0,04 | |
| TER | Terra | 0,07 | | | 2 | 2,00 |
| TER | Lapillo vulcanico | 0,02 | | | 0,0069 | 2,00 |
| PLS | Elementi in materiale plastico | 0,004 | | | 0,0125 | 1000,00 |
| CAA | Camera non ventilata | 0,04 | | | 0,15 | 1,00 |
| PLA | Strato resiliente in polietilene | 0,005 | 0,47 | | 0,0114 | 100000,00 |
| ALI | Isolante CELENIT FL/150 60 | 0,12 | | | 1,50 | 5,00 |
| CLS | CLS generico – densità 1500 kg/m ³ | 0,05 | 0,65 | | 0,0769 | 75,00 |
| INA | Camera non ventilata sp. mm 300 | 0,30 | | | 0,23 | 1,00 |
| ISL | Isolante a media densità in lana minerale | 0,045 | 0,0042 | | 1,2857 | 1,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,025 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | - | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 7,0226 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1424 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| <p>Andamento della temperatura</p> | | | <p>Andamento della pressione</p> | | | |
| RISULTATI CONDENZA INTERSTIZIALE** | | | Condensa presente < del valore limite (500 g/m³) | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | <p>Accumulo condensa</p> <p>■ Interf. 5</p> <p>■ CONDENSAZIONE</p> <p>■ EVAPORAZIONE</p> <ul style="list-style-type: none"> Sup est. Interf. 1 Interf. 2 Interf. 3 Interf. 4 Interf. 5 Interf. 6 Interf. 7 Interf. 8 Interf. 9 Interf. 10 Sup int. | | | |
| Novembre | 0 | 0 | | | | |
| Dicembre | 25,36 | 131,82 | | | | |
| Gennaio | 31,95 | 221,58 | | | | |
| Febbraio | 13,24 | 296,78 | | | | |
| Marzo | -18,19 | 336,49 | | | | |
| Aprile | -63,91 | 0 | | | | |
| Maggio | 0 | 0 | | | | |
| Giugno | 0 | 0 | | | | |
| Luglio | 0 | 0 | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 7,0226 m ² k/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 05 | | | |
|--|---|--|---|---------------|----------------|----------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio di copertura | | | |
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimentazione in lastre di pietra, sp. 2,50 cm 2. Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 6,00 cm 3. Tenuta all'acqua: membrana bituminosa, sp. 0.40 cm 4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo Celenit, sp. 6.00 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 5. Getto di completamento in cls, sp. 5,00 cm 6. Lamiera grecata tipo HI-BOND A 55 P 600 7. Struttura portante: trave secondaria HEA 220 8. Struttura in acciaio zincato per il controsoffitto agganciata alla lamiera con pendini e ganci a molla 9. Isolamento acustico in lana minerale, sp. 4.00 cm 10. Lastra di gesso rivestito, sp. 1,25 cm | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ | Conduttanza C | Res. termica R | Res. al vapore μ |
| | 1/he resistenza termica di emissione | - | | 25 | 0,04 | |
| ROC | Porfido | 0,025 | 4 | | 0,0086 | 10000,00 |
| MAS | Massetto in argilla espansa sp. 6 cm | 0,06 | 0,105 | | 0,5714 | 2,00 |
| PLA | Strato resiliente in polietilene | 0,004 | 0,47 | | 0,0114 | 100000,00 |
| ALI | Isolante CELENIT FL/150 60 | 0,06 | | | 1,50 | 5,00 |
| ALI | Isolante CELENIT FL/150 60 | 0,06 | | | 1,50 | 5,00 |
| CLS | CLS generico – densità 1500 kg/m ³ | 0,05 | 0,65 | | 0,0769 | 75,00 |
| INA | Camera non ventilata sp. mm 300 | 0,30 | | | 0,23 | 1,00 |
| ISL | Isolante a media densità in lana minerale | 0,045 | 0,0042 | | 1,2857 | 1,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| VAR | Cartongesso in lastre | 0,0125 | 0,21 | | 0,0595 | 8,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | - | | 10 | 0,10 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 5,3836 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1857 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | Condensa presente < del valore limite (500 g/m ²) | | | |
| Novembre | 49,93 | 49,93 | | | | |
| Dicembre | 81,89 | 131,82 | | | | |
| Gennaio | 89,75 | 221,58 | | | | |
| Febbraio | 75,21 | 296,78 | | | | |
| Marzo | 39,7 | 336,49 | | | | |
| Aprile | -4,33 | 332,15 | | | | |
| Maggio | -48,82 | 283,33 | | | | |
| Giugno | -204,81 | 78,52 | | | | |
| Luglio | -449,46 | 0 | | | | |
| | | | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 5,3836 m ² k/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,30 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CO. 06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Orizzontale | EL. TECNICO | Solaio controterra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Scala 1:20</p> | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Finitura interna: resina bicomponente, sp. 0,50 cm 2. Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 3,00 cm 3. Isolamento termoacustico: pannello rigido in lana di roccia, sp. 2,00 cm 4. Pannello isolante in fibre di legno pressate, sp. 6+6 cm 5. Rete elettrosaldata Ø 8 mm, maglia 20x20 cm 6. Getto di completamento in cls, sp. 5,00 cm 7. Vespaio aerato realizzato con casseri a perdere tipo IGLU', h. 50 cm 8. Magrone in cls non armato, sp. 10 cm 9. Guaina impermeabilizzante in polietilene, sp. 0,50 cm 10. Terreno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1/he resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAA | Intercapedine debolmente ventilata | 0,50 | | | 0,115 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLS | CLS generico – densità 1500 kg/m ³ | 0,05 | 0,65 | | 0,0769 | 75,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALI | CELENIT FL/150 60 | 0,06 | | | 1,50 | 5,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALI | CELENIT FL/150 60 | 0,06 | | | 1,50 | 5,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ISL | Isolante rigido in lana di roccia | 0,02 | 0.035 | | 0,035 | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAS | Massetto in argilla espansa | 0,025 | 0.105 | | 0,2381 | 2,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLA | Resine acriliche | 0,005 | | | 0,025 | 10000,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 6 | 0,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 3,9250 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,2548 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE ** | | | Condensa non presente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dicembre | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gennaio | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Febbraio | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Marzo | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aprile | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maggio | - | - | <table border="1"> <tr> <td>CAA</td> <td>Sup. est.</td> </tr> <tr> <td>CLS</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>ISL</td> <td>Interf. 5</td> </tr> <tr> <td>MAS</td> <td>Interf. 6</td> </tr> <tr> <td>PLA</td> <td>Sup. int.</td> </tr> </table> | | | | CAA | Sup. est. | CLS | Interf. 1 | ALI | Interf. 2 | ALI | Interf. 3 | ALI | Interf. 4 | ISL | Interf. 5 | MAS | Interf. 6 | PLA | Sup. int. |
| CAA | Sup. est. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLS | Interf. 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALI | Interf. 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALI | Interf. 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALI | Interf. 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ISL | Interf. 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAS | Interf. 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLA | Sup. int. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Giugno | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 3,9250 m ² K/W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,33 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



| VERIFICHE PRESTAZIONALI | | | CV. 03 | | | |
|--|---|--|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| UN. TECNOLOGICA | Chiusura Verticale | EL. TECNICO | Muro controterra | | | |
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno 2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 30 cm 3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta densità, sp. 0,90 cm 4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0.50 cm 5. Isolante in fibre di legno pressate tipo Celenit, sp. 6,00 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 6. Blocchi in cls, sp. 20 cm 7. Pannello isolante in fibra di cellulosa Celenit, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ 8. Strato di finitura: intonaco civile, sp. 1,00 cm | | | | |
| PRESTAZIONI RESIDUE | | | | | | |
| Cat. | Descrizione del materiale | Sp. [m] | Conducibilità λ [W/mK] | Conduttanza C [W/m ² K] | Res. termica R [m ² K/W] | Fattore di res. al vapore (μ) |
| | 1/ho resistenza termica di emissione | | | 25 | 0,04 | |
| CLS | CLS generico – densità 1900 kg/m ³ | 0,30 | 0,75 | | 0,283 | 95,00 |
| PLA | Polietilene (PE) | 0,009 | 0,47 | | 0,0257 | 100000,00 |
| IMP | Bitume polimero su PPL sp. 4 mm | 0,004 | | | 0,0133 | 80000,00 |
| ALI | Isolante CELENIT FL/120 60 | 0,06 | | | 1,50 | 2,00 |
| ALI | Isolante CELENIT FL/120 60 | 0,06 | | | 1,50 | 2,00 |
| MAT | Laterizi alveolati | 0,20 | | 6 | 0,64 | 15,00 |
| ALI | VITAL 80 | 0,08 | | | 2,15 | 3,00 |
| CAR | Idrolastra in cartongesso | 0,0125 | 0,70 | | 0,0111 | 20,00 |
| | 1/hi resistenza termica di ammissione | | | 7 | 0,13 | |
| Resistenza TOTALE [m²K/W] | | | | | | 6,3446 |
| Trasmittanza TOTALE [W/m²K] * | | | | | | 0,1576 |
| ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLE PRESSIONI _ mese di gennaio (Glaser) | | | | | | |
| | | | | | | |
| RISULTATI CONDENSA INTERSTIZIALE** | | | | | | |
| Mese | Flusso di vapore [g/m ²] | Condensa [g/m ²] | Condensa presente < del valore limite (500 g/m ²) | | | |
| Ottobre | 0 | 0 | | | | |
| Novembre | 2,57 | 2,57 | | | | |
| Dicembre | 4,09 | 6,66 | | | | |
| Gennaio | 4,46 | 11,12 | | | | |
| Febbraio | 3,75 | 14,87 | | | | |
| Marzo | 2,04 | 16,91 | | | | |
| Aprile | -0,18 | 16,72 | | | | |
| Maggio | -2,49 | 14,24 | | | | |
| Giugno | -437,23 | 0 | | | | |
| | | | | | | |
| RIASSUNTO DELLE PRESTAZIONI | | | | | | |
| Resistenza termica minima accettabile: | | | 2,1385 m ² K/W | | | |
| Resistenza termica totale dell'elemento: | | | 6,3446 m ² k/W | | | |

* Trasmittanza max D.Lgs. 311 - 2010: **0,34 W/(m²K)**

** Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831.



14.3. Le superfici vetrate

Gli infissi utilizzati sono prevalentemente di tre tipi:

- **S1** - serramenti in acciaio a taglio termico, di varie dimensioni, utilizzati sia per l'intervento sugli edifici esistenti, sia per la realizzazione delle superfici trasparenti verticali dello spazio ipogeo. Tali serramenti hanno le seguenti caratteristiche:

- telaio in acciaio,
- doppio vetro, sp. 5/12/5,
- $U = 1,700 \text{ W/m}^2\text{K}$

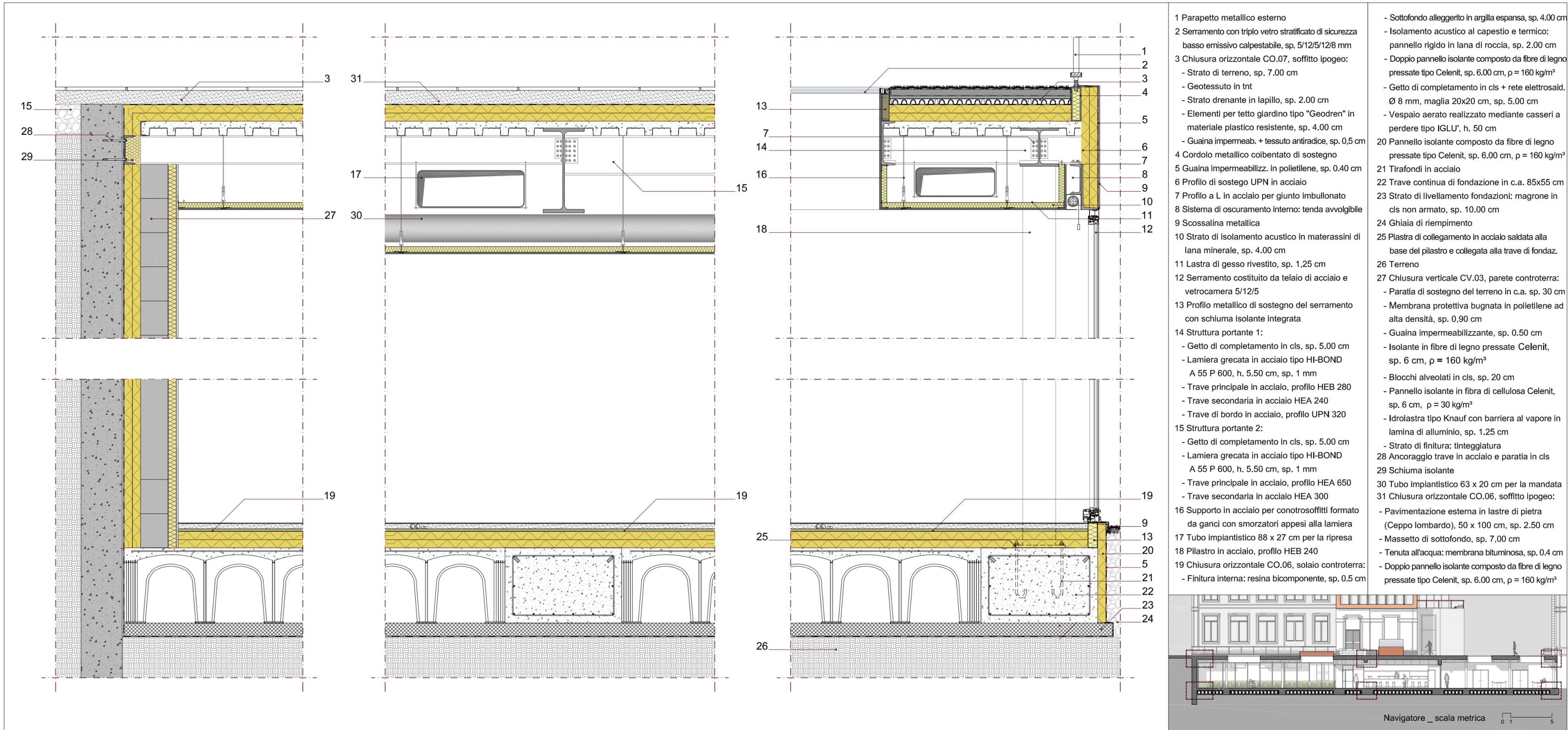
- **S2** - serramenti inclinati tipo "Velux basso-emissivo" per la realizzazione dei lucernari delle camere duplex negli edifici 2 e 3 con le caratteristiche seguenti:

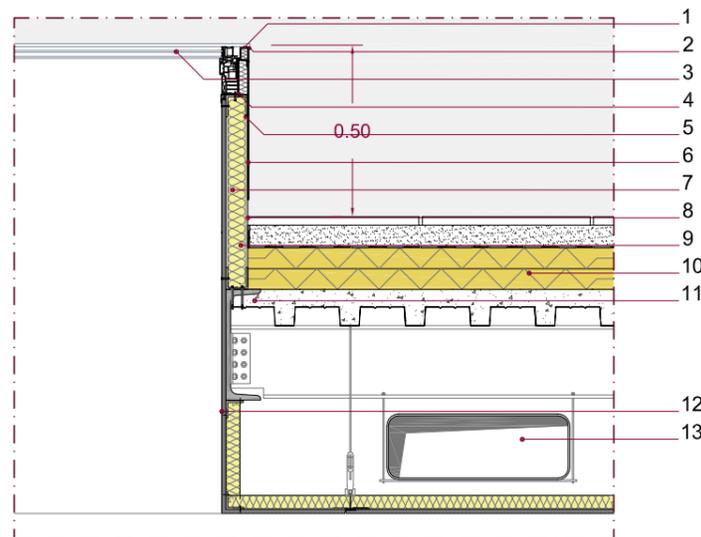
- schermatura solare preinstallata,
- telaio in pvc,
- doppio vetro, sp. 4/14/4,
- $U = 1,400 \text{ W/m}^2\text{K}$

- **S3** - lucernari dello spazio ipogeo realizzati con serramenti molto massicci che possano garantire la calpestabilità degli stessi. Tali elementi hanno le seguenti caratteristiche:

- triplo vetro stratificato di sicurezza a bassa emissività calpestabile, sp. 5/12/5/12/8,
- $U = 0,484 \text{ W/m}^2\text{K}$

Le finestre presentano prevalentemente sistemi di ombreggiamento interni realizzati con tende avvolgibili: unica eccezione sono le porte finestre all'ultimo piano degli edifici 2 e 3 che, data la loro esposizione a sud, sono ombreggiate da un sistema di brise-soleil in cotto formato da elementi tubolari tipo "Autan Terreal".

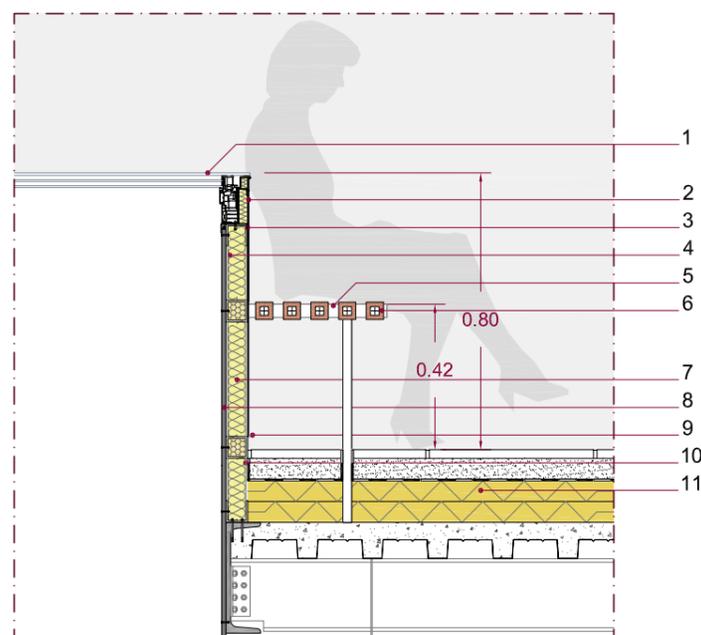
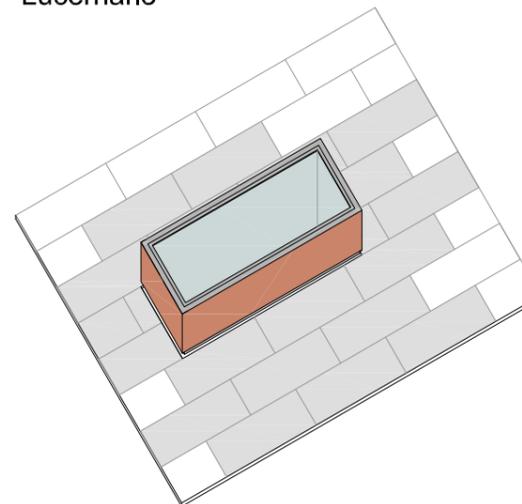




LEGENDA

1. Gomma espansa a struttura cellulare chiusa
2. Giunto soliconico
3. Serramento triplo vetro basso emissivo, 5/12/5/12/8 mm
4. Lamiera in alluminio pressopiegata
5. Profilo metallico a C per posizionamento serramento
6. Lamiera in rame pressopiegata
7. Profilo metallico a C di sostegno, sp. 7 mm
8. Lamiera metallica protettiva
9. Coibentazione termica in schiuma poliuretanic
10. Chiusura orizzontale **CO.06**
11. Ancoraggio profilo metallico - cls
12. Lastra in gesso rivestito, sp. 1.25 cm
13. Tubo impiantistico per ventilazione/riscaldamento

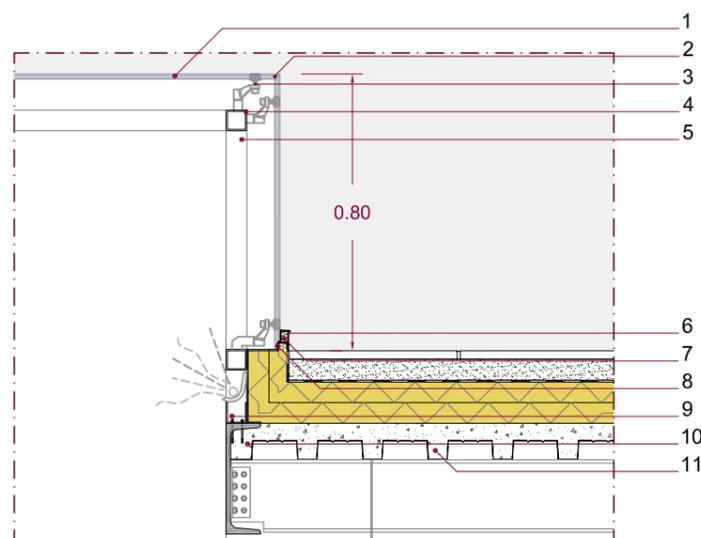
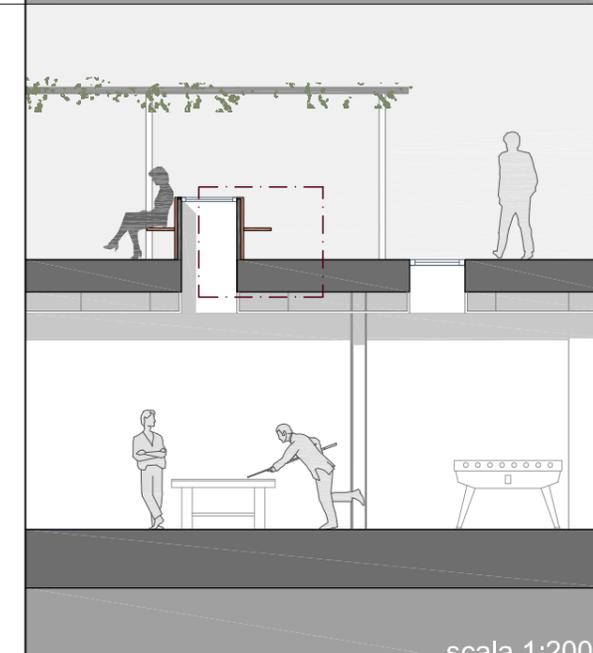
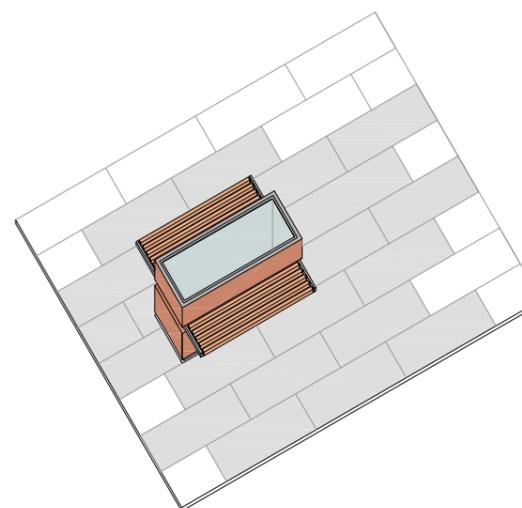
● Lucernario



LEGENDA

1. Serramento triplo vetro basso emissivo, 5/12/5/12/8 mm
2. Lamiera in rame pressopiegata
3. Lamiera in alluminio pressopiegata
4. Profilo metallico a T per posizionamento serramento
5. Elemento metallico di sostegno elementi Autan
6. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5x5,3x28 cm
7. Coibentazione termica in schiuma poliuretanic
8. Lastra in gesso rivestito, sp. 1.25 cm
9. Elemento di sostegno della panchina
10. Elemento metallico di sostegno a C, sp. 7 mm
11. Chiusura orizzontale **CO.06**

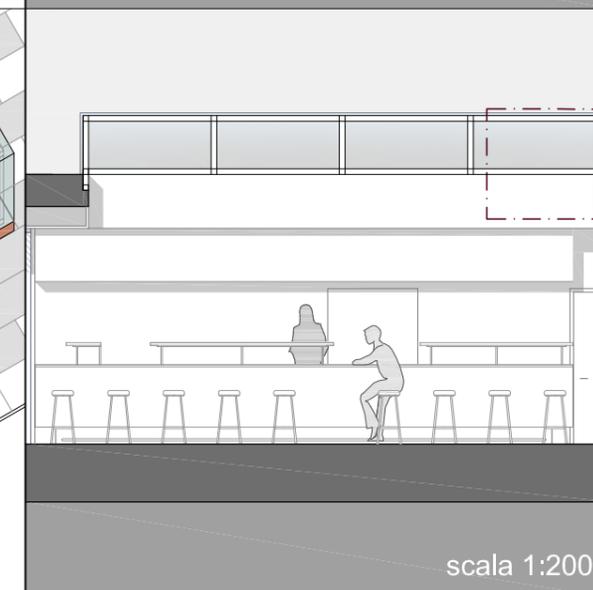
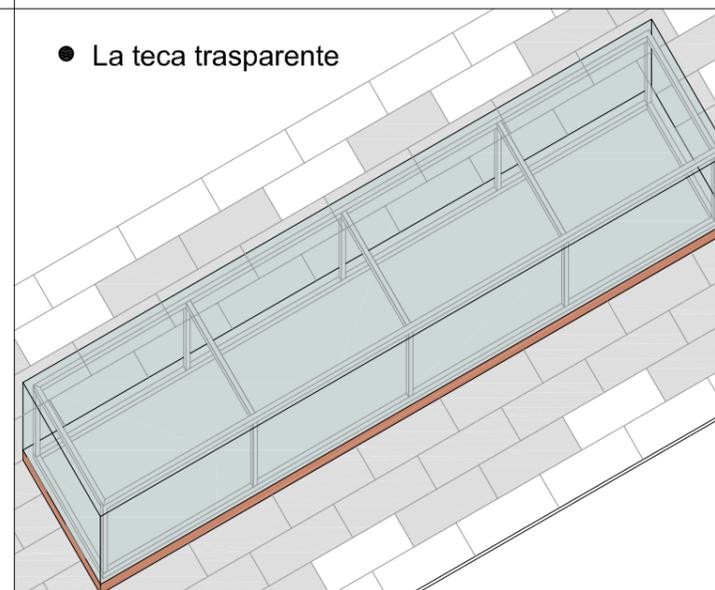
● Lucernario + seduta

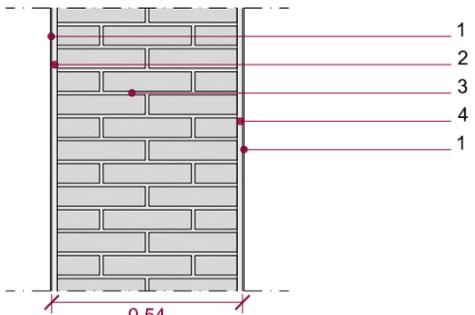
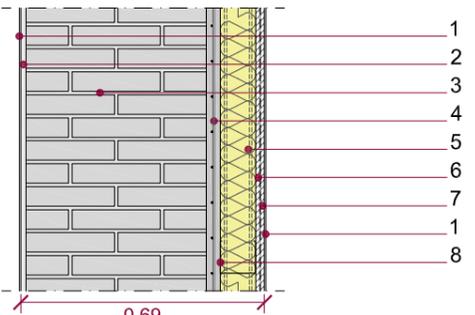
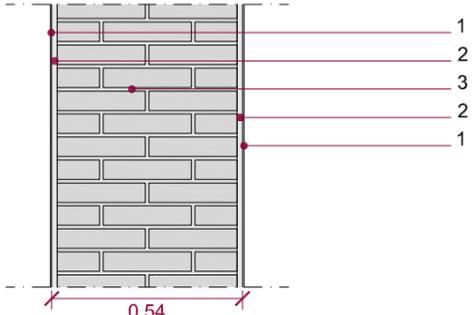
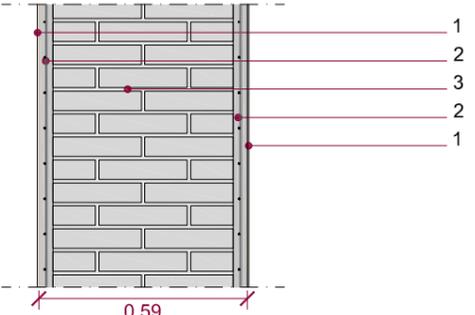
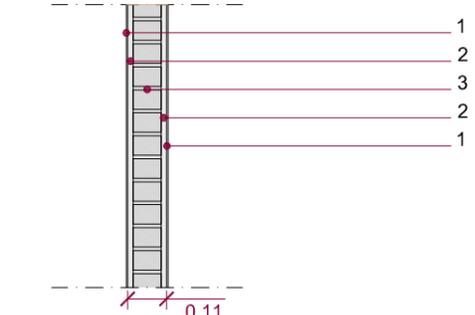
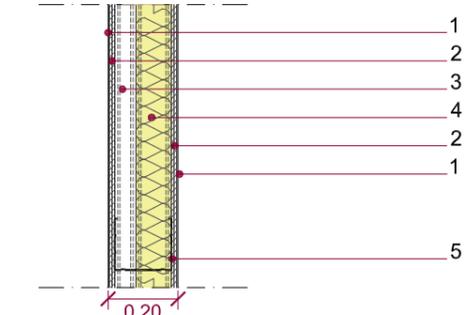
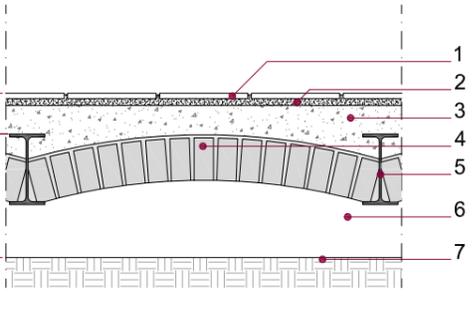
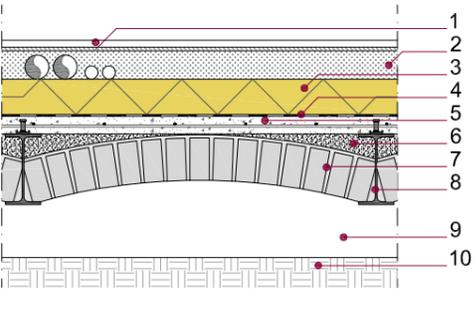
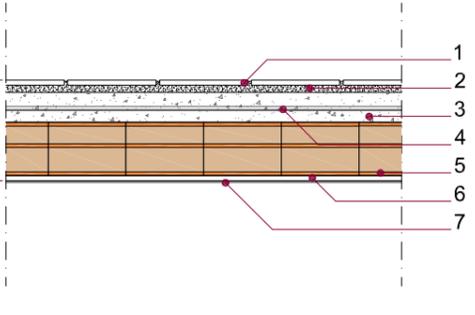
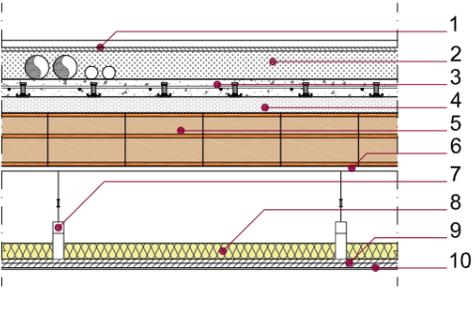


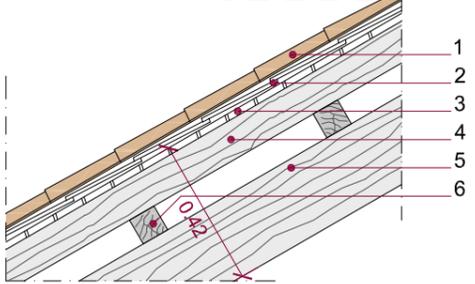
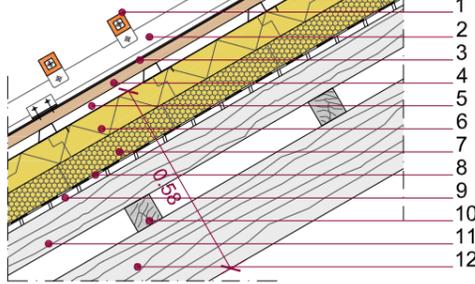
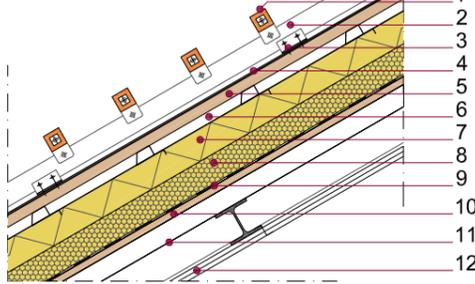
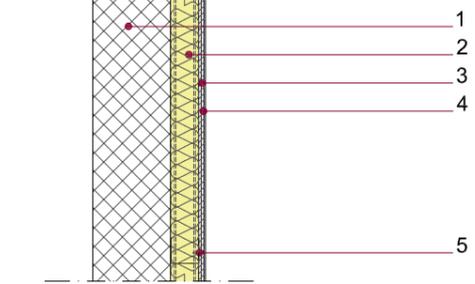
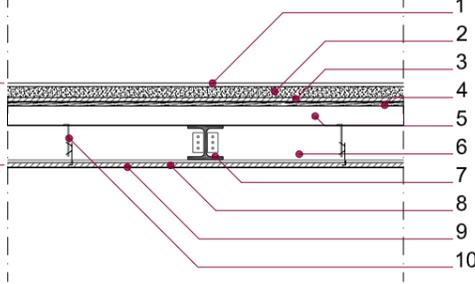
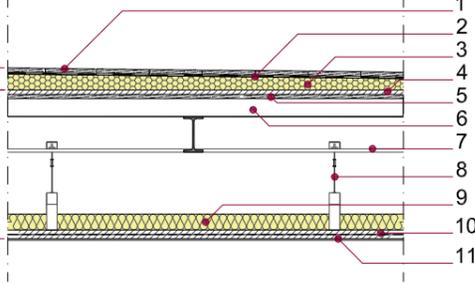
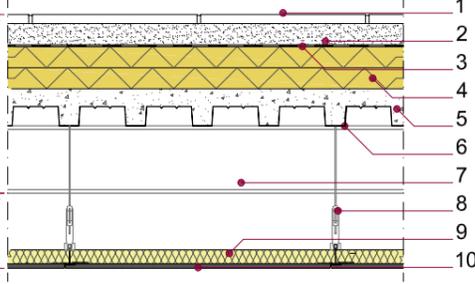
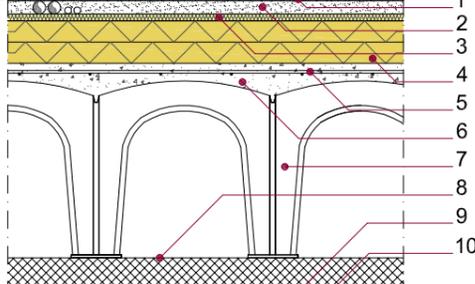
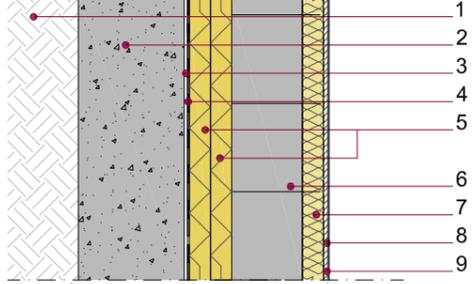
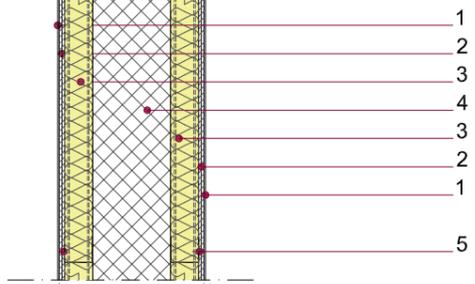
LEGENDA

1. Serramento doppio vetro basso emissivo, 5/8/5/ mm
2. Gomma espansa a struttura cellulare chiusa
3. Giunto di acciaio tipo "ragno": elemento ad angolo di sostegno del vetro
4. Profilo metallico tubolare: corrente orizzontale, sp. 5 cm
5. Profilo metallico tubolare: montante verticale, sp. 5 cm
6. Lamiera in rame pressopiegata
7. Coibentazione termica in schiuma poliuretanic
8. Lamiera in rame pressopiegata
9. Faretto per l'illuminazione
10. Elemento metallico di sostegno a C, sp. 7 mm
11. Chiusura orizzontale **CO.05**

● La teca trasparente



| | | | |
|---|--|---|---|
| <p>CV.01/e $U = 1,1719 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco esterno in malta di calce, sp. 1,50 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm 4. Intonaco interno in malta di calce e gesso, sp. 1,50 cm | <p>CV.01/p $U = 0,2944 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco in malta di calce, sp. 1,50 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm 4. Intonaco armato con rete elettrosaldata, sp. 4 cm 5. Isolante semirigido in lana minerale sp. 10 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ 6. Lastra Knauf A13, sp. 1,25 cm 7. Idrolastra Knauf con barriera al vapore in lamina di alluminio sp. 1,25 cm 8. Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus) |
| <p>PV.01/e $U = 1,1589 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco in malta di calce e gesso, sp. 1,50 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm | <p>PV.01/p $U = 1,0606 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco armato con rete elettrosaldata, sp. 4 cm 3. Muratura portante in mattoni pieni, sp. 51 cm |
| <p>PV.02/e $U = 3,0568 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Intonaco in malta di calce e gesso, sp. 1,50 cm 3. Muratura in mattoni pieni, sp. 8 cm | <p>PV.02/p $U = 0,3334 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Doppia lastra in cartongesso, sp. tot 2,50 cm 3. Intercapedine d'aria non ventilata 4. Isolante semirigido in lana minerale sp. 10 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ 5. Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus) |
| <p>CO.01/e $U = 1,5007 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in cotto, sp. 1,7 cm 2. Massetto di sottofondo in sabbia-cemento, sp. 2 cm 3. Getto in cls, sp. in chiave 8 cm 4. Volta in mattoni pieni, sp. 13,50 cm 5. Profilo metallico NP 20 6. Intercapedine debolmente ventilata 7. Terreno | <p>CO.01/p $U = 0,2499 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in linoleum + collante, sp. 3,00 cm 2. Massetto per impianti in argilla espansa, sp. 8,00 cm 3. Pannello isolante rigido in fibra di legno e polistirene, sp. 10,00 cm 4. Strato resiliente in polietilene, sp. 0,40 cm 5. Getto in cls + rete elettrosaldata e connettori Tecnaria, sp. 5,00 cm 6. Riempimento con sabbia-cemento 7. Volta in mattoni pieni, sp. 13,50 cm 8. Profilo metallico NP 20 9. Intercapedine debolmente ventilata 10. Terreno |
| <p>PO.01/e $U = 0,9281 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in cotto, sp. 1,70 cm 2. Massetto di sottofondo in sabbia-cemento, sp. 2 cm 3. Getto in cls, sp. 8,5 cm 4. Profilo metallico NP 18 5. Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm) 6. Intonaco in malta di calce e gesso, sp. 1,50 cm 7. Tinteggiatura | <p>PO.01/p $U = 0,2615 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in linoleum + collante, sp. 3,00 cm 2. Massetto per impianti in argilla espansa, sp. 8,00 cm 3. Getto in cls + rete elettrosaldata e connettori Tecnaria, sp. 5,00 cm 4. Riempimento in polistirene, sp. 4,50 cm 5. Tavelloni in laterizio, sp. 15 cm (dim. 22x22 cm) 6. Intonaco in malta di calce, sp. 1,50 cm 7. Gancio con smorzatore 8. Sottostrutt. metallica con isolante media ρ in lana minerale sp. 4,50 cm 9. Doppia lastra in cartongesso sp. tot 2,50 cm 10. Tinteggiatura |

| | | | |
|---|---|---|---|
| <p>CO.03/e $U = 2,0202 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tegole marsigliesi 2. Listelli sottomanto 3. Assito in legno, sp. 2,00 cm 4. Travetto in legno, sp. 10,00 cm 5. Puntone di sostegno in legno, sp. 22,00 cm 6. Arcareccio in legno, sp. 8,00 cm | <p>CO.03/p $U = 0,1876 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5 x 5,3 x 28 cm 2. Sottostruttura metallica, sp. 7,50 cm 3. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm 4. Assito in legno, sp. 3 cm 5. Intercapedine d'aria, sp. 3 cm 6. Pannelli tipo ISOTEC XL con profilo metallico integrato, sp. 8 cm 7. Isolante termoacustico in lana di legno tipo Celenit, sp. 7,50 cm 8. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,4 cm 9. Assito in legno, sp. 2,00 cm 10. Arcareccio in legno, sp. 8,00 cm 11. Travetto in legno, sp. 10,00 cm 12. Puntone di sostegno in legno, sp. 22,00 cm |
| <p>CO.02 $U = 0,1952 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5 x 5,3 x 28 cm 2. Sottostruttura metallica sp. 7,50 cm 3. Elemento di sostegno a L 4. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm 5. Assito in legno, sp. 3,00 cm 6. Intercapedine ventilata, sp. 3,00 cm 7. Pannelli tipo ISOTEC XL, sp. 8,00 cm 8. Pannello isolante termoacustico in lana di legno Celenit, sp. 7,50 cm 9. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,40 cm 10. Assito in legno, sp. 2,00 cm 11. Struttura portante in acciaio 12. Placcaggio in cartongesso, sp. 2,50 cm | <p>PV.03 $U = 0,4350 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Setto in cls, sp. 22,00 cm 2. Isolante semirigido in lana minerale sp. 8,00 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ 3. Doppia lastra in cartongesso, sp. tot 2,50 cm 4. Tinteggiatura 5. Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus) |
| <p>PO.02</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento in resina, sp. 1 cm 2. Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 3,00 cm 3. Lastra in cartongesso, sp. 1,25 cm 4. Lastra in legno ricomposto, sp. 1,25 cm 5. Lamiera grecata tipo HI-BOND A 55 P 600 6. Struttura portante: trave principale HEA 160 7. Struttura portante: trave secondaria IPE 100 8. Placcaggio in cartongesso, sp. 1,25 9. Tinteggiatura 10. Struttura di supporto in acciaio zincato per il controsoffitto agganciata alla lamiera grecata tramite pendini e ganci a molla | <p>CO.04 $U = 0,2735 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Finitura in legno resistente all'acqua, sp. 1,50 cm 2. Guaina impermeabilizzante in polietilene sp. 0,40 cm 3. Lastra FOAMGLAS® TAPERED con pendenza integrata 1,1% 4. Lastra in cartongesso sp. tot 1,25 cm 5. Lastra in legno ricomposto sp. 1,25 cm 6. Lamiera grecata HI-BOND tipo A 55/P 7. Struttura portante: trave second. IPE 100 e trave princip. HEA 160 8. Gancio con smorzatore 9. Sottostrutt. metallica con isolante media ρ in lana minerale sp. 4,50 cm 10. Doppia lastra in cartong. con iterposta barriera al vapore, sp. tot 2,50 cm 11. Tinteggiatura |
| <p>CO.05 $U = 0,1857 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimentazione in lastre di pietra, 50 x 100 cm, sp. 2,50 cm 2. Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 6,00 cm 3. Strato di tenuta all'acqua: membrana bituminosa, sp. 0,40 cm 4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate tipo Celenit, sp. 6,00 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 5. Getto di completamento in cls, sp. 5,00 cm 6. Lamiera grecata tipo HI-BOND A 55 P 600 7. Struttura portante: trave secondaria HEA 200 8. Struttura di supporto in acciaio zincato per il controsoffitto agganciata alla lamiera grecata tramite pendini e ganci a molla 9. Strato di isolamento acustico in lana minerale, sp. 4,00 cm 10. Lastra di gesso rivestito, sp. 1,25 cm | <p>CO.06 $U = 0,2548 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strato di finitura interna: resina bicomponente, sp. 0,50 cm 2. Sottofondo alleggerito in argilla espansa, sp. tot 4,00 cm 3. Isolamento termoacustico: pannello rigido in lana di roccia, sp. 2,00 cm 4. Pannello isolante composto da fibre di legno pressate, sp. 6+6 cm 5. Rete elettrosaldata $\varnothing 8 \text{ mm}$, maglia 20x20 cm 6. Getto di completamento in cls, sp. 5,00 cm 7. Vespaio aerato realizzato con casseri a perdere tipo IGLU', h. 50 cm 8. Magrone in cls non armato, sp. 10 cm 9. Guaina impermeabilizzante in polietilene, sp. 0,50 cm 10. Terreno |
| <p>CV.03 $U = 0,1576 \text{ W/(m}^2\text{K)}$</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno 2. Paratia di sostegno del terreno in cls armato, sp. 30 cm 3. Membrana protettiva bugnata in polietilene ad alta ρ, sp. 0,90 cm 4. Guaina impermeabilizzante, sp. 0,50 cm 5. Isolante in fibre di legno pressate Celenit, sp. 6 cm, $\rho = 160 \text{ kg/m}^3$ 6. Blocchi in cls, sp. 20 cm 7. Pannello isolante in fibra di cellulosa Celenit, sp. 6 cm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ 8. Idrolastra in cartongesso, sp. 1,25 cm 9. Tinteggiatura | <p>PV.05</p>  | <p>LEGENDA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tinteggiatura 2. Doppia lastra in cartongesso, sp. tot 2,50 cm 3. Isolante semirigido in lana minerale sp. 8,00 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ 4. Setto in cls, sp. 22,00 cm 5. Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus) |

Il progetto strutturale



15. Scelte progettuali

Gli approfondimenti strutturali si suddividono in due parti:

- 1) studio del comportamento delle strutture esistenti consolidate e soggette a nuovi carichi;
- 2) dimensionamento della struttura dello spazio ipogeo.

1) **Esistente:** negli edifici 2 e 3 è prevista la realizzazione di soppalchi e di un sopralzo in acciaio che poggiano direttamente sulle murature esistenti. Sono state definite le opere di consolidamento dei muri tramite la tecnica dell'intonaco armato e di rinforzo dei solai esistenti con il sistema "tecnaria"¹. Inoltre sono state dimensionati tutti gli elementi nuovi.

2) **Ipogeo:** Lo spazio realizzato in ipogeo presenta una struttura prevalentemente in acciaio con degli elementi in calcestruzzo ove necessari. La scelta dell'acciaio è stata dettata dalla sua rapidità di posa in opera, per la sua leggerezza e per la facilità di realizzazione delle aperture per i lucernari. L'unica eccezione è costituita dalla struttura di ingresso alla mensa, interamente realizzata in c.a.

15.1. Consolidamento dell'esistente

In seguito allo studio del sistema tecnologico del complesso esistente, è stato dedotto - sulla base di osservazioni in sito e attraverso informazioni reperite da manuali tecnici - che il sistema strutturale del manufatto è costituito da murature portanti perimetrali, poggianti su un sistema di fondazioni, e da un muro di spina (corpo doppio).

Data la notevole luce (circa 7 metri), si è dedotto che i solai di interpiano siano stati realizzati con putrelle in acciaio e pignatte, mentre si è ipotizzato che il solaio controterra sia stato costruito in putrelle metalliche e voltine in mattoni pieni.

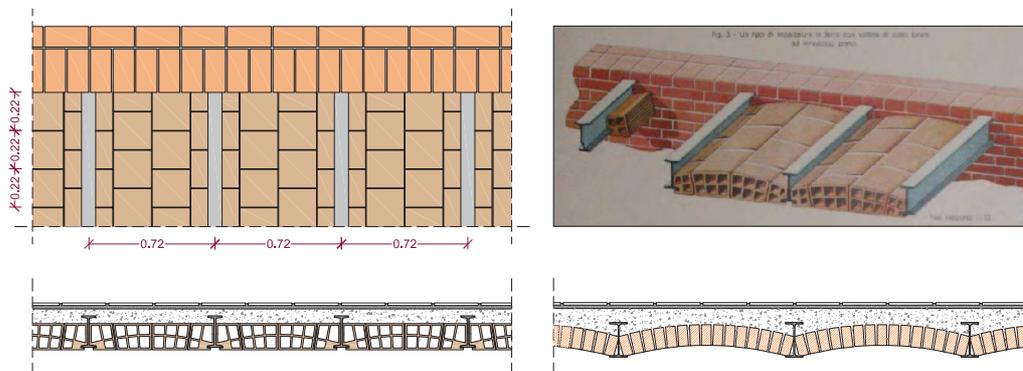


Fig. 15.1. - Particolare solaio di interpiano e solaio controterra, scala 1:45.

Per quanto riguarda l'individuazione delle caratteristiche meccaniche delle murature sarebbe necessario effettuare delle prove in sito ricorrendo a strumentazioni adeguate, ad esempio tramite l'ausilio di **martinetti piatti**². I risultati ottenuti da tali controlli possono essere considerati rappresentativi del comportamento generale della struttura. Nel caso in esame si farà riferimento alle Normative³.

Dai risultati di osservazioni in situ si può concludere che non si manifestano fenomeni di dissesto della struttura portante. Per questo motivo gli interventi di consolidamento saranno esclusivamente finalizzati ad un adeguamento statico del manufatto esistente, che deve portare nuovi carichi agenti superiori a quelli per cui è stato progettato.

¹ www.tecnaria.com

² Il valore della pressione idraulica all'interno del martinetto è, in prima approssimazione, uguale al valore di resistenza della muratura.

³ Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*.



15.1.1. La tecnica dell'intonaco armato

Le murature portanti devono essere in grado di portare i nuovi carichi verticali trasmessi dai solai: per questo motivo si è scelto di intervenire tramite la tecnica dell'**intonaco armato**⁴ che prevede le seguenti fasi:

- demolizione dell'intonaco esistente, rimozione del materiale incoerente e friabile (come malta degradata e inconsistente) con attrezzi meccanici fino ad ottenere un supporto pulito e compatto;
- applicazione di consolidante o di primer qualora si renda necessario consolidare un supporto che si presenta meccanicamente debole (ripristino di eventuali vuoti);
- lavaggio e saturazione del supporto, al fine di impedire che quest'ultimo possa sottrarre acqua alla malta;
- applicazione di un primo strato di rinzafo al paramento murario;
- posizionamento della rete elettrosaldata in acciaio a un'adeguata profondità, così da garantire una copertura dell'armatura con uno spessore di malta non inferiore a 2 cm;
- fissaggio provvisorio della rete alla muratura con chiodi da carpenteria, taglio della rete con cesoie o tronchesi e sovrapposizione delle fasce di rete per circa 15-20 cm al fine di garantire la continuità meccanica;
- applicazione di circa 2,5 - 3 cm di intonaco con caratteristiche di progetto;
- applicazione dello strato di finitura.

L'utilizzo di questo sistema consente di ottenere un significativo incremento delle caratteristiche meccaniche della struttura muraria in modo uniforme.

Fig. 15.2. e fig. 15.3. - Immagini esplicative della tecnica dell'intonaco armato.



⁴ Utilizzo di malta tipo "malta per intonaci traspiranti a base di pozzolana Mapei" o tipo "FibreBuild".



15.1.2. I solai esistenti: sistema a connettori e soletta collaborate

Il rinforzo dei solai esistenti viene realizzato sovrapponendo alla struttura esistente una soletta in calcestruzzo armato e rendendo le due strutture solidali mediante l'interposizione di connettori⁵. Tali connettori metallici vengono fissati sull'estradosso delle putrelle con chiodatrice a sparo o ad aria. Il sistema di rinforzo prevede la realizzazione di cordoli armati perimetrali per garantire un'adeguata trasmissione delle forze.

Le fasi di esecuzione sono le seguenti:

- *puntellamento* della struttura sottostante per lavorare in condizioni di sicurezza;
- messa a nudo dell'estradosso delle putrelle metalliche per consentire di effettuare gli interventi di consolidamento;
- individuazione delle distanze a cui andranno posizionati i connettori (circa 20 cm);
- fissaggio dei connettori alle putrelle sottostanti tramite chiodatrice a sparo o ad aria ed eventuale riempimento della parte sovrastante le pignatte con blocchi di polistirene;
- posa della rete elettrosaldata;
- realizzazione del getto di completamento in calcestruzzo (5 cm);
- rimozione dei puntelli a completa stagionatura del calcestruzzo.



Fig. 15.4. - A sinistra: Intradosso solaio putrelle metalliche e pignatte sagomate.

Fig. 15.5. - A destra: Particolare connettori Tecnaria.



Fig. 15.6. e fig. 15.7. - A sinistra: Infissione dei connettori mediante chiodatrice a sparo e realizzazione di cordoli armati perimetrali.

Fig. 15.8. - A destra: Infissione dei connettori mediante chiodatrice a sparo e posa degli elementi di polistirene.

⁵ www.tecnaria.com



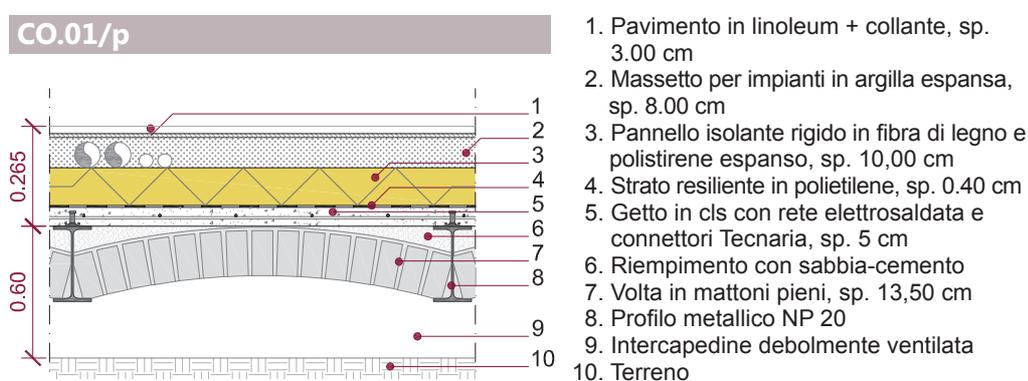
Dimensionamento e verifica del solaio

Il dimensionamento e la verifica del solaio vengono effettuati tramite l'ausilio del software Tecnaria 3.07 che viene messo a disposizione dall'omonima ditta per il dimensionamento dei solai misti acciaio-calcestruzzo con connettori. Tale programma, partendo da una serie di dati di input quali geometria, materiali e carichi, calcola la distanza fra i connettori ed esegue le verifiche di resistenza e di deformabilità agli Stati Limite secondo il D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Le verifiche sono valide sia per quanto riguarda il solaio di interpiano che per quello controterra come in seguito descritto.

_ CARICHI DI ESERCIZIO

Si considera un carico variabile pari a $Q = 2,00 \text{ kN/m}^2$ (ambienti ad uso residenziale⁶).

Fig. 15.9. - Dettaglio costruttivo solaio controterra CO.01/p in scala 1:20.

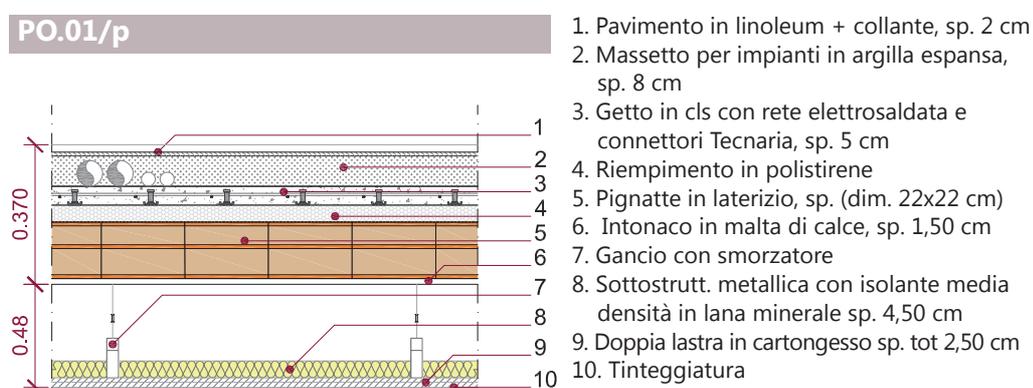


_ ANALISI DEI CARICHI

Tab. 15.1. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di interpiano.

| Strati | Spessore [m] | Peso specifico [kN/m ³] | Peso [kN/m ²] |
|--|---------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Pavimentazione in linoleum | 0.020 | 0.05 | 0.001 |
| Massetto per impianti | 0.060 | 10.00 | 0.600 |
| Isolamento semirigido in lana minerale | 0.060 | 0.40 | 0.024 |
| Strato resiliente in polietilene | 0.005 | - | - |
| Getto in cls | 0.050 | - | - |
| Riempimento in sabbia-cemento | (medio) 0.030 | 17.00 | 0.510 |
| Volta in mattoni con putrelle metalliche | 0.135 | - | - |
| Totale carichi permanenti non strutturali | | G_{2,1} | 1.410 |

Fig. 15.10. - Dettaglio costruttivo solaio di interpiano PO.01/p in scala 1:20.



⁶ Cfr. tab. 3.1.II - Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici, NTC 2008.

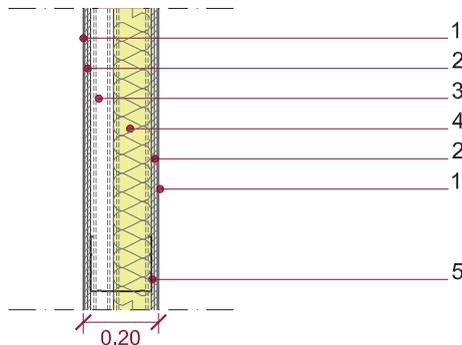


_ ANALISI DEI CARICHI

| Strati | Spessore [m] | Peso specifico [kN/m ³] | Peso [kN/m ²] |
|--|--------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Pavimentazione in linoleum | 0.020 | 0.05 | 0.001 |
| Massetto per riscaldamento a pavim. | 0.025 | 11.00 | 0.275 |
| Massetto per impianti | 0.060 | 10.00 | 0.600 |
| Getto in cls | 0.050 | - | - |
| Riempimento in polistirene | 0.045 | 10.50 | 0.473 |
| Pignatte in laterizio | 0.050 | - | - |
| Intonaco in malta di calce | 0.015 | 18.00 | 0.270 |
| Isolante acustico in lana minerale | 0.045 | 0.40 | 0.018 |
| Doppia lastra in cartongesso | 0.025 | 10.40 | 0.260 |
| Totale carichi permanenti non strutturali | | G_{2,1} | 1.897 |

Tab. 15.2. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio controterra.

PV.02/p



1. Tinteggiatura
2. Doppia lastra in cartongesso, sp. tot 2,50 cm
3. Intercapedine d'aria non ventilata
4. Isolante semirigido in lana minerale sp. 10 cm e $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$
5. Sottostruttura a C in acciaio zincato (profilo Knauf C Plus)

Fig. 15.11. - Dettaglio costruttivo partizione interna verticale PV.02/p in scala 1:20.

_ ANALISI DEI CARICHI

| Strati | Spessore [m] | Peso specifico [kN/m ³] | Peso [kN/m ²] |
|--|--------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Doppia lastra in cartongesso | 0.025 | 10.40 | 0.260 |
| Isolamento acustico in lana di roccia | 0.100 | 1.00 | 0.100 |
| Doppia lastra in cartongesso | 0.025 | 10.40 | 0.260 |
| Sottostruttura | 0.100 | - | 0.150 |
| Totale carichi permanenti non strutturali | | G_{2,2} | 0.770 |

Tab. 15.3. - Calcolo delle azioni permanenti non strutturali delle partizioni verticali.

Tale peso così determinato, viene moltiplicato per l'altezza media di interpiano pari a 4,60 m: $0,77 \text{ kN/m}^2 \times 4,60 \text{ m} = 3,54 \text{ kN/m}$

Dalla normativa per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$ si può fare riferimento ad un **G_{2,2} = 1,60 kN/m²**.

Di seguito vengono riportati i dati di *input* inseriti nel programma relativi a geometria, materiali e carichi necessari per effettuare il dimensionamento.

| Dati geometrici | Base [m] | Altezza [m] | Interasse [m] |
|---|----------|---|---------------|
| Travi (profili metallici NP 20) | | 0.20 | 0.720 |
| Getto in cls | - | 0.50 | - |
| Totale carichi permanenti non strutturali _ interpiano | | G_{2,1} [kN/m²] | 1.897 |
| _ controterra | | G_{2,1} [kN/m²] | 1.410 |
| Totale carichi variabili (civili abitazioni) | | Q [kN/m²] | 2.000 |

Tab. 15.4. - Quadro riassuntivo dei dati inseriti nel software Tecnaria.

Il programma, facendo riferimento alle normative sopracitate, restituisce come *output* i dati relativi al posizionamento, dimensione e numero dei connettori e le verifiche a breve e a lungo termine allo Stato Limite Ultimo e di Esercizio.

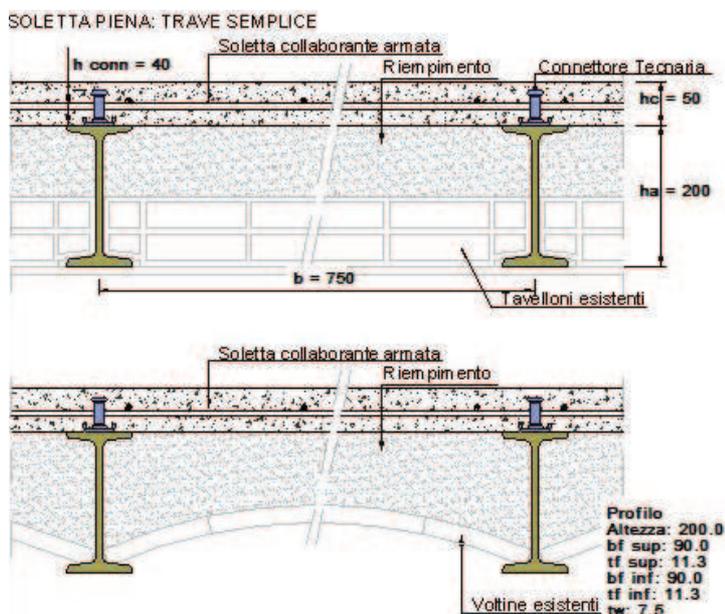


IL PROGETTO STRUTTURALE

_ DATI DI OUTPUT SOFTWARE TECNARIA

Il software calcola un peso proprio $G_1 = 1,56 \text{ kN/m}^2$ considerando il solaio composto da putrelle metalliche IPN 200 con interasse 75 cm, tavelloni o voltine in laterizio (il G_1 sarà quindi il medesimo sia per il solaio di interpiano, sia per il solaio controterra) riempimento e soletta collaborante armata di 5,00 cm di spessore con connettori Tecnaria.

Fig. 15.12. - Schermata software Tecnaria.



Il Software considera il solaio come una trave appoggio appoggio e compie in automatico la somma di tutti i carichi previsti amplificati degli opportuni coefficienti parziali di sicurezza relativi alle azioni. I risultati forniti sono i seguenti:

_ Stato Limite Ultimo

| | | | |
|------------------------------|------------------|------|-----------|
| $M_{Ed} = 46.70 \text{ kNm}$ | verifica Momento | 0.96 | ok |
| $M_{Rd} = 48.80 \text{ kNm}$ | verifica Taglio | 0.14 | ok |

- Connessione

| | | | |
|-----------------------------|--------|----------|------------|
| Altezza connettori: 4.00 cm | L (cm) | n. conn. | passo (cm) |
| Distribuzione uniforme: | 700 | 37 | ~19,5 |

_ Stato Limite di Servizio

| | | |
|-----------------------------------|---|-----------|
| Inflessione max 2° fase | $\delta_2 = 1/300$ | |
| | $\delta_{2,prog} = 1/559$ | ok |
| Inflessione max finale | $\delta_{max} = 1/250$ (per aggiunta soppalchi) | |
| | $\delta_{max,prog} = 1/308$ | ok |
| Staffe [cm^2/m] | 1.48 | |



15.2. Dimensionamento strutturale degli elementi ex-novo⁷

15.2.1. Copertura: portali in acciaio

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 sia tale da non superare il valore limite:

$$\text{sollecitazione} < \text{resistenza}$$

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

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.

_ ANALISI DEI CARICHI

Carichi permanenti non strutturali (G₂)

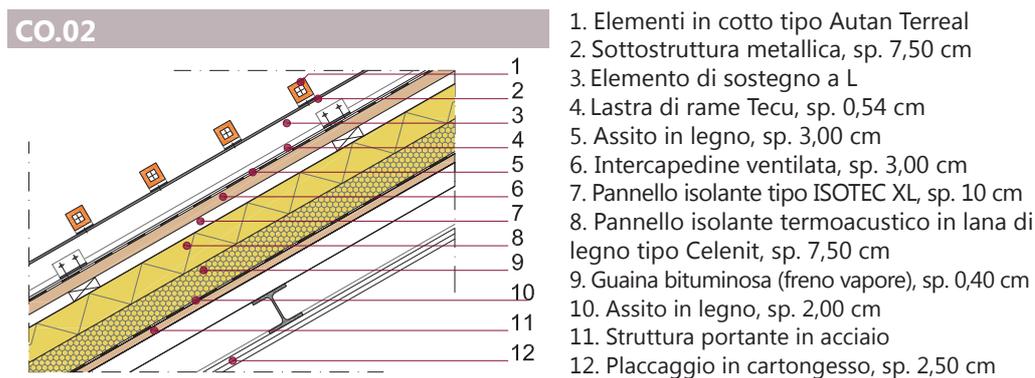


Fig. 15.13. - Dettaglio costruttivo solaio di copertura CO.02 in scala 1:20.

| Strati | Spessore [m] | Peso specifico [kN/m ³] | Peso [kN/m ²] |
|--|--------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Elementi in cotto tipo Autan Terreal | 0.060 | (1 el, kN) 0.012 | (15 el/m ²) 0.180 |
| Lastra di rame Tecu | 0.006 | 6.40 | 0.038 |
| Sottostruttura metallica | 0.075 | - | 0.300 |
| Tessuto non tessuto | 0.003 | 0.04 | 0.001 |
| Guaina impermeabilizzante | 0.004 | 16.00 | 0.064 |
| Assito in legno | 0.030 | 4.50 | 0.135 |
| Pannelli tipo ISOTEC XL | 0.080 | 0.38 | 0.030 |
| Isolante in lana di legno tipo Celenit | 0.075 | 1.00 | 0.075 |
| Guaina bituminosa (freno vapore) | 0.004 | 16.00 | 0.064 |
| Assito in legno | 0.020 | 4.50 | 0.090 |
| Placcaggio in cartongesso (doppio) | 0.025 | 10.4 | 0.260 |
| Totale carichi permanenti non strutturali | | G_{2,1} | 1.237 |

Tab. 15.5. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di copertura.

⁷ I calcoli sono stati sviluppati 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 PROGETTO STRUTTURALE

- Serramento tipo Velux

H serramento 2,30 m

Peso telaio = 0,12 kN/m

Peso vetro = 25 kN/m³ * (2,30 m * 0,012 m) = 0,69 kN/m

Peso tot = 0,81 kN/m

Carichi variabili (Q)

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. I valori nominali e/o caratteristici sono riportati nella seguente tabella:

Tab. 15.6. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici.

| Cat. | Ambienti | q _k [kN/m ²] | Q _k [kN] | H _k [kN/m] |
|------|--|--|------------------------|--|
| A | Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi, (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento) | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| B | Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico | 2,00 3,00 | 2,00 2,00 | 1,00 1,00 |
| C | Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi 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 | 3,00 4,00 5,00 | 2,00 4,00 5,00 | 1,00 2,00 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

Carico del vento

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

_ Velocità di riferimento

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. 14.7. e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 14.12.;

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

In riferimento al caso studio analizzato i dati che ne risultano sono:

Milano → zona 1

Piani fuori terra: 3 piani

$v_{b,0} = 25$ 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 m < 1000 m →
 $v_{b,0} = v_b = 25$ m/s (velocità del vento).



Fig. 15.14. - Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano.

_ 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;

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. 14.7.;

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

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



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:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

dove:

k_r, z_0, z_{\min} sono assegnati in Tab. 15.8. in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
 c_t è il coefficiente di topografia.

Tab. 15.8. - Valori dei parametri k_r, z_0, z_{\min} , per la definizione del coefficiente di esposizione.

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

In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Fig. 15.15. in funzione della *posizione geografica* del sito ove sorge la costruzione e della *classe di rugosità del terreno* definita in Tab. 15.8. 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. 15.16. riporta le leggi di variazione di c_e per le diverse categorie di esposizione.

Fig. 15.15. - A sinistra: Definizione delle categorie di esposizione.

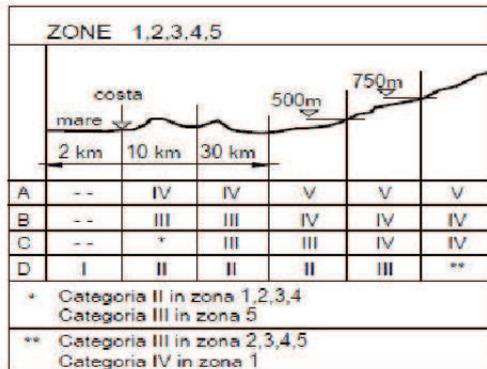
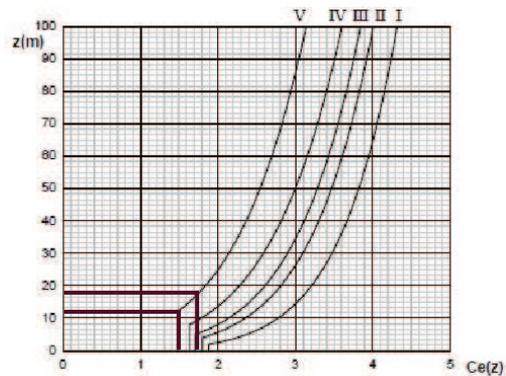


Fig. 15.16. - A destra: Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$).



Tab. 15.9. - Classi di rugosità del terreno.

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

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Riassumendo si ricava:
 Classe A → area urbana



Categoria di esposizione del sito:

| | | |
|-----------------------|------------------|-----------------------------|
| Zona 1 (Milano) | Classe IV | $k_r = 0,23$ |
| Classe A | | $z_0 = 0,70$ |
| Sotto i 500 m slm | | $z_{min} = 12,00 \text{ m}$ |
| Più di 30 Km dal mare | | $z_{max} = 17,50 \text{ m}$ |

$c_t = 1$ sempre, Coefficiente di Topografia

$$c_e(z_{min}) = c_e(12,00) = 0,23^2 \ln(12,00/0,70) [7 + \ln(12,00/0,70)] = 1,48$$

Fino a 12 metri la pressione del vento è costante.

$$c_e(z_{max}) = c_e(17,50) = 0,23^2 \ln(17,50/0,70) [7 + \ln(17,50/0,70)] = 1,74$$

Andamento approssimato linearmente.

Coefficiente di forma (c_p)

Per la valutazione della pressione esterna si assumerà (vedere Fig. 15.17. ed esprimere 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) $c_{pe} = - 0,4$

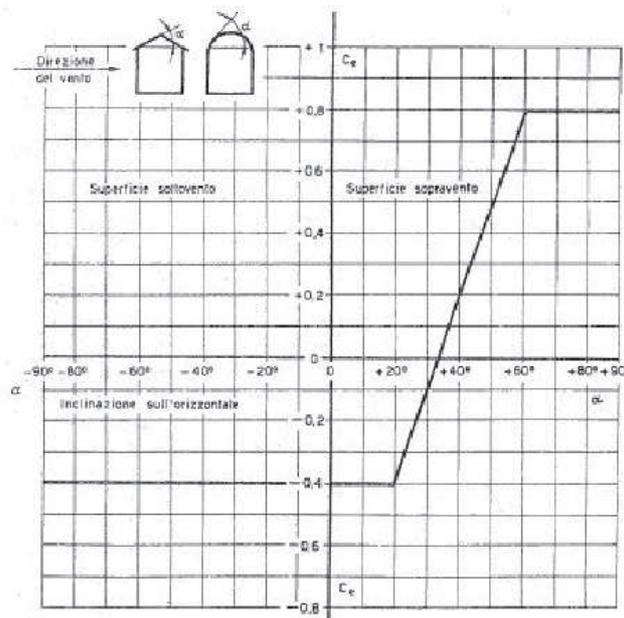


Fig. 15.17. - Valori assunti da c_{pe} al variare di α .

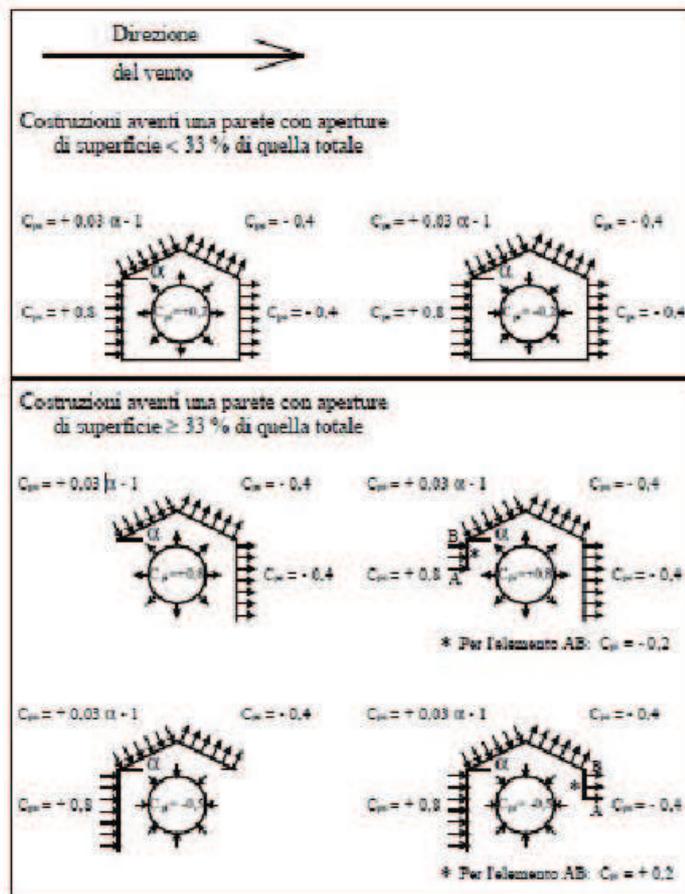
Per la valutazione della pressione interna si assumerà (vedere Fig. 15.18. e scegliere il segno che dà luogo alla combinazione più sfavorevole):

- 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. 15.18. - Coefficienti di forma per gli edifici.



$$c_p = c_{pe} + c_{pi} = 1,2$$

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.

Noti i parametri è possibile determinare la pressione del vento:

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

Per $z \leq 12,00$ m $\rightarrow P = 39 \cdot 1,48 \cdot 1,2 \cdot 1 = 69,264 \text{ Kg/m}^2$

Per $z = 17,50$ m $\rightarrow P = 39 \cdot 1,74 \cdot 1,2 \cdot 1 = 81,432 \text{ Kg/m}^2$



Carico della neve

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

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot c_E \cdot c_t$$

dove:

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

Per il valore caratteristico di riferimento del carico da neve si userà la seguente formula, valida in zona I – mediterranea:

$$q_{sk} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

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

Zona I – Mediterranea

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

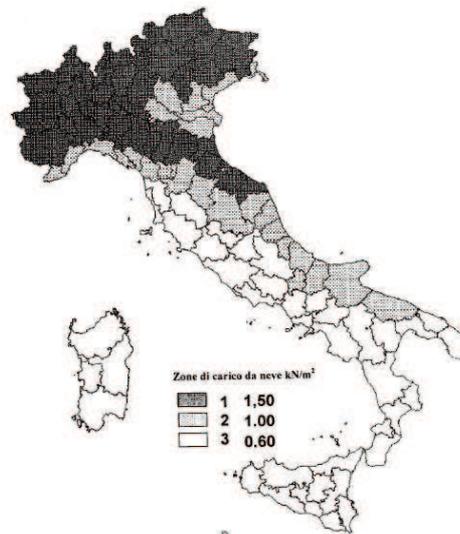


Fig. 15.19. - Zone di carico da neve.

Coefficiente di esposizione

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 seguente tabella 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. 15.10. - Valori di c_E per diverse classi di topografia.



Coefficiente termico

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

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.

Tab. 15.11. - Coefficienti di forma.

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| μ_i | 0,8 | $0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$ | 0,0 |

Noti tutti i parametri è possibile determinare il carico della neve:

$$\begin{aligned} \mu_i &= 0,8 & C_E &= 1,0 \\ q_{sk} &= 1,5 & C_t &= 1,0 \end{aligned}$$

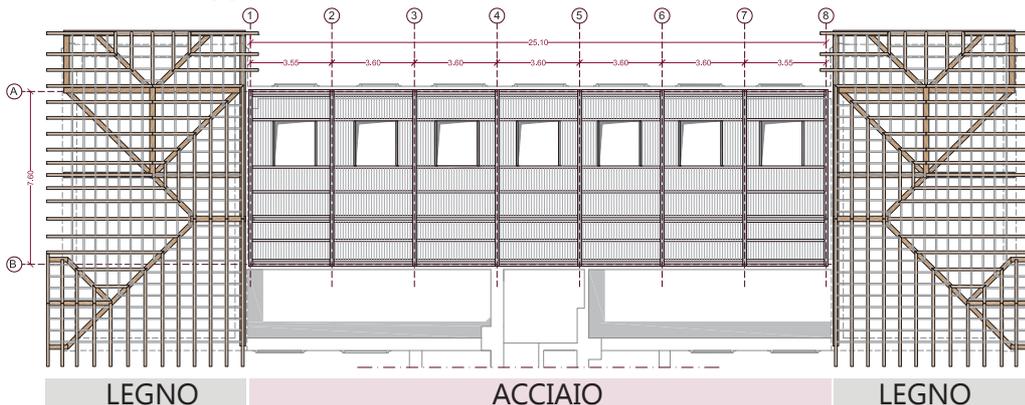
$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

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

_ DIMENSIONAMENTO DELLA COPERTURA IN ACCIAIO

Per il dimensionamento delle varie componenti strutturali si è seguito il percorso dei canali statici. Partendo dalla lamiera grecata, si è proceduto poi con: trave secondaria, trave principale e pilastro maggiormente sollecitati (ossia con area di influenza maggiore).

Fig. 15.20. - Pianta strutturale della copertura.



Si riportano in seguito i carichi di progetto fin qui determinati

| Tipo di carico | | Valore | Unità di misura |
|--------------------------------|----------|--------|-------------------|
| Peso struttura | G_1 | - | kN/m ² |
| Peso proprio non strutturale | G_2 | 1,237 | kN/m ² |
| Carico della neve | Q_{k1} | 1,200 | kN/m ² |
| Destinazione d'uso (copertura) | Q_{k2} | 0,500 | kN/m ² |



Lamiera grecata

Si è scelto di adottare lo schema statico di una trave appoggio-appoggio con carico uniformemente distribuito.

Il carico di progetto è stato ottenuto attraverso la combinazione *SLE rara*⁸:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + Q_{k2} * \psi_{02} = [0,131 + 1,237 + 1,200 + (0,5*0)] \text{ kN/m}^2 = 2,568 \text{ kN/m}^2$$

Consultando le tabelle della lamiera grecata HI Bond A 55 P.600 ($p_{lam} = 0,1310 \text{ kN/m}^2$) sono stati stabiliti:

- lo spessore della lamiera 1,00 mm
- la distanza massima degli appoggi 2,50 m

verificando che il carico agente sulla stessa e la freccia abbiano un valore minore di quelli tabellati.

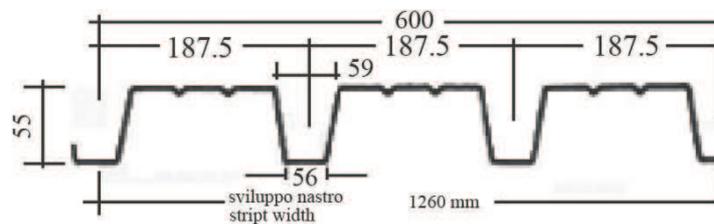


Fig. 15.21. - Caratteristiche geometriche della lamiera HI-Bond A55 P.600.

$$f = 5pL^4 / 384 EJ_{(tab)} = 9,34 \text{ mm} < 12,20 \text{ mm} \quad \text{Verificato}$$

$$q = 2,568 \text{ kN/m}^2 < 3,75 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Verificato}$$

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

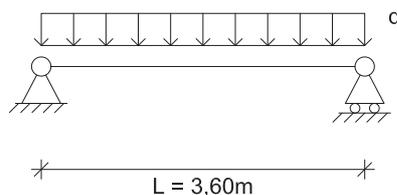
| Spessore | Distanza fra gli appoggi (espressa in metri) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 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 |

Tab. 15.12. - Caratteristiche meccaniche della lamiera HI-Bond A55 P.600.

Di conseguenza il valore di interasse max di progetto è stato fissato a 2,40 m.

Trave secondaria

L'orditura secondaria della struttura di solaio è riconducibile a uno schema statico di semplice trave con vincolo appoggio-appoggio uniformemente caricata.



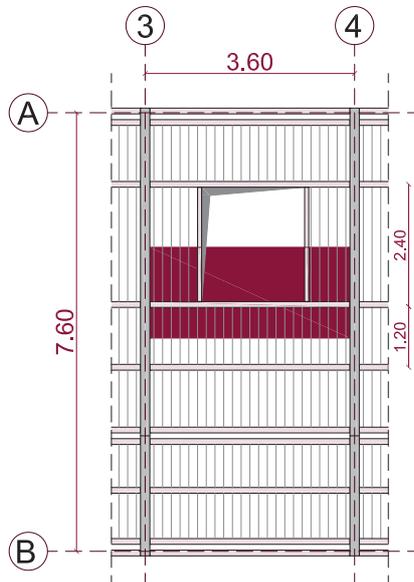
⁸ Con Q_{k1} si intende il carico della neve a favore di sicurezza, mentre il carico Q_{k2} rappresenta la destinazione d'uso (copertura) e il coefficiente ψ_{02} per questo uso è pari a 0.



_ Stato Limite di Esercizio (SLE)

Per la determinazione del carico q agente sulla trave, è stata utilizzata la *combinazione di carico rara* moltiplicata per la larghezza dell'area di influenza:

Fig. 15.22. - Schema dell'area di influenza della trave secondaria.



$$q = (G_1 + G_2 + Q_{1,k}) * i = 2,568 \text{ kN/m}^2 * 1,80 \text{ m} = 4,622 \text{ kN/m}$$

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

A tale valore si sottrae la percentuale occupata da serramento e si aggiunge il suo peso lineare:

$$q = (4,576 - 30 \% + 0,81) \text{ kN/m} = 4,05 \text{ kN/m}$$

Per il predimensionamento della trave secondaria maggiormente caricata si impone che la deformazione massima del profilo sia minore del valore riportato nella Tab. 14.13.

Tab. 15.13. - 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.

Una trave appoggio-appoggio uniformemente caricata presenta freccia massima in mezzera e si ricava mediante la seguente formula:

$$F_{max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a $1/200$ della luce:

$$L/200 = 5/384 * (qL^4 / EJ) \rightarrow J = 1000/384 * (qL^3 / E)$$

Il valore di J così calcolato è pari a $234,32 \text{ cm}^4$. Si è scelto il profilo da prontuario HEA 100 ($h = 96 \text{ mm}$):

| b [mm] | t_w [mm] | t_f [mm] | r [mm] | A [mm ²] | I_y [mm ⁴] | W_{pl} [mm ³] |
|--------|------------|------------|--------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 100 | 5,0 | 8,0 | 12 | 2120 | 3490000 | 83000 |

Essendo l'inerzia della HEA 100 superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta verificato.



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

$$(4,05 + 0,17) \text{ kN/m} = 4,22 \text{ kN/m}$$

A questo punto è possibile effettuare le verifiche a deformazione:

$$\delta_2 = 5/384 * [(P_{Q1(SLE)} * L^4) / EJ] = 5/384 * [1,20 \text{ N/mm} * (3600 \text{ mm})^4] / 210000 \text{ N/mm}^2 * 3490000 \text{ mm}^4 = 3,95 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 5/384 * [(P_{tot(SLE)} * L^4) / EJ] = 5/384 * [4,22 \text{ N/mm} * (3600 \text{ mm})^4] / 210000 \text{ N/mm}^2 * 3490000 \text{ mm}^4 = 12,59 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 3,95/3600 < 1/250 \quad \text{e} \quad \delta_{max} / L = 12,59/3600 < 1/200 \quad \text{verificato}$$

_ Stato Limite Ultimo (SLU)

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

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

I fattori moltiplicativi γ sono tratti dalla Tab. 14.14. e, fra le due condizioni previste, si è sempre scelta quella sfavorevole (in 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. 15.14. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

$$q_{G1} = \gamma_{G1} G_1 = (0,131 \text{ kN/m}^2 * 1,80 \text{ m} + 0,17 \text{ kN/m}) * 1,3 = 0,53 \text{ kN/m}$$

$$q_{G2} = \gamma_{G2} G_2 = (1,237 \text{ kN/m}^2 * 1,80 \text{ m}) * 1,5 = 3,34 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q1} = \gamma_{Q1} Q_{1,k} = (1,20 \text{ kN/m}^2 * 1,80 \text{ m}) * 1,5 = 3,24 \text{ kN/m}$$

$$q_{tot} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{1,k} = (0,53 + 3,34 + 3,24) \text{ kN/m} = 7,11 \text{ kN/m}$$

Flessione monoassiale retta

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

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

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

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} * f_{yk}) / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2}^9$$

Il momento resistente è pari a:

$$M_{c,Rd} = (83000 \text{ mm}^3 * 275 \text{ N/mm}^2) / 1,05 = 21738095 \text{ Nmm} = 21,74 \text{ kNm}$$

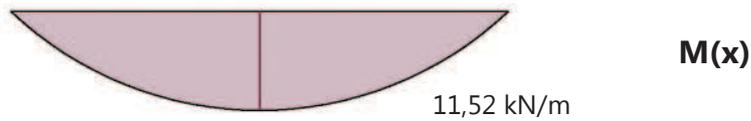
Il momento massimo in mezzera è pari a:

$$M_{Ed} = (q_{tot} * L^2) / 8 = (7,11 * 3,60^2) / 8 = 11,52 \text{ kNm}$$

⁹ Il profilo HEA 100 rientra nelle sezioni di classe 1 (cfr. NTC 2008).



Fig. 15.23. -
Diagramma del
momento flettente.



$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 11,52 / 21,74 = 0,53 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

Verifica a taglio

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

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

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

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

dove A_v è l'area resistente a taglio.

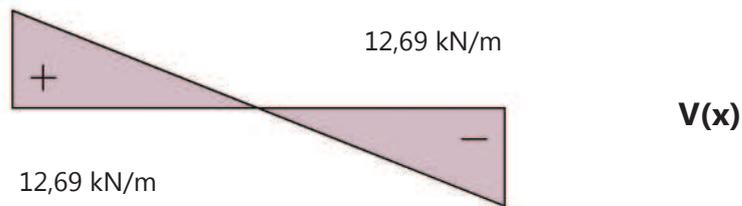
Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = 21,20 - 2 * 10 * 0,8 + (0,5 + 2 * 1,2) * 0,8 = 7,52 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_v * f_{yk} / \sqrt{3} * \gamma_{M0} = (752 \text{ mm}^2 * 275 \text{ N/mm}^2) / (\sqrt{3} * 1,05) = 113,71 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = (q_{tot} * L) / 2 = (7,11 \text{ kN/m} * 3,60 \text{ m}) / 2 = 12,80 \text{ kN}$$

Fig. 15.24. -
Diagramma del
taglio.



$$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 12,80 / 113,71 = 0,113 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

Portale - valutazioni strutturali

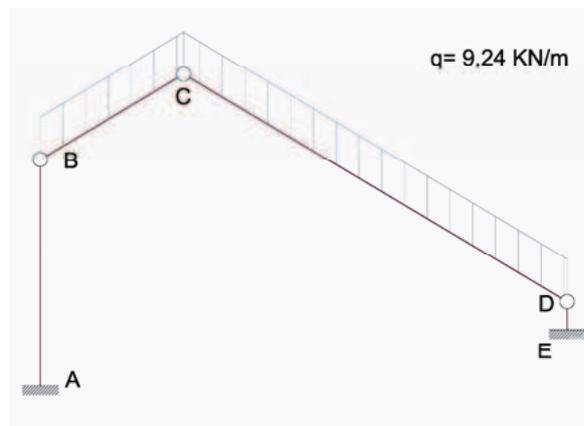
Modello di calcolo: valutazione e considerazioni sulla scelta dello schema statico di progetto per la nuova copertura¹⁰.

Schema statico 1

GDL: 12

GDV: 12 (struttura isostatica)

Fig. 15.25. - Schema
statico 1.



Vantaggi: trasportabilità dei singoli pezzi al cantiere e montaggio a piè d'opera. Il vincolo cerniera viene garantito dall'imbullonamento dell'anima dei profili del portale.

Svantaggi: valore maggiore della spinta orizzontale trasmessa alle murature portanti rispetto ad altri schemi statici, necessità di avere un profilo almeno HEA 220 per il montante verticale più lungo se non si vogliono avere deformazioni eccessive dell'elemento.

¹⁰ Sono state ipotizzate tre soluzioni diverse per lo studio dei portali in acciaio. A seconda dei vantaggi/svantaggi e possibilità realizzative è stata scelta l'ultima. Vengono qui riportate le considerazioni emerse per tutti i casi studio al fine di giustificare al meglio la scelta adottata.



Diagrammi delle azioni interne e vincolari calcolate con software SAP2000

$$R_{AX} = 30,64 \text{ kN}, \quad R_{AY} = 31,20 \text{ kN},$$

$$R_{EX} = 30,64 \text{ kN}, \quad R_{EY} = 51,51 \text{ kN},$$

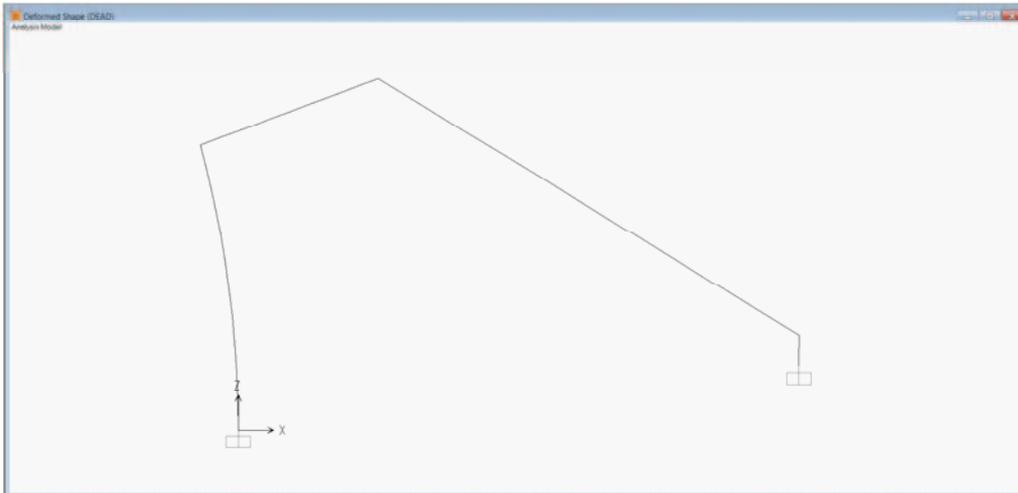


Fig. 15.26. - Andamento della deformata, schema statico 1.

Il punto B risulta essere quello con il massimo valore di deformazione pari a 4,69 cm.

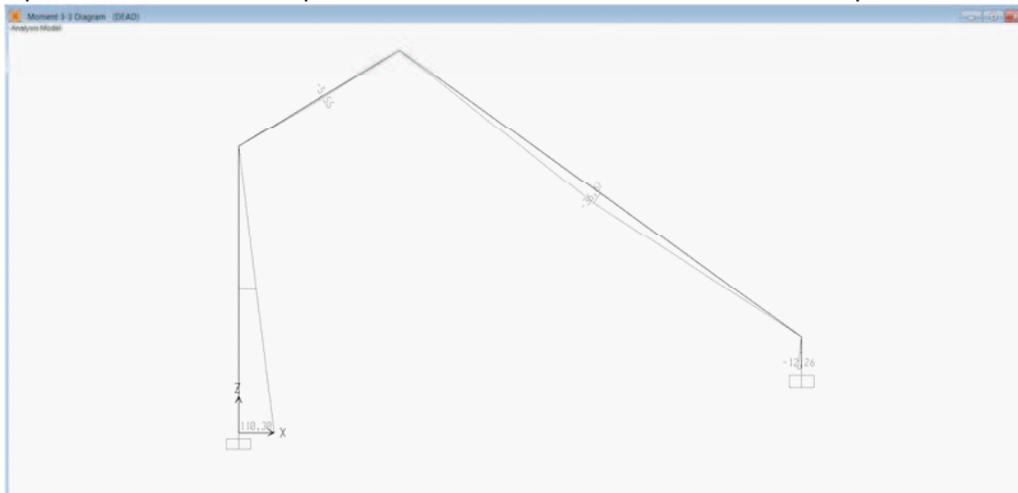


Fig. 15.27. - Diagramma delle azioni interne di momento flettente, schema statico 1.

$$M_A = 100,30 \text{ kNm}$$

$$M_B = M_C = M_D = 0,00 \text{ kNm (in coerenza con la presenza del vincolo cerniera)}$$

$$M_E = 12,26 \text{ kNm}$$

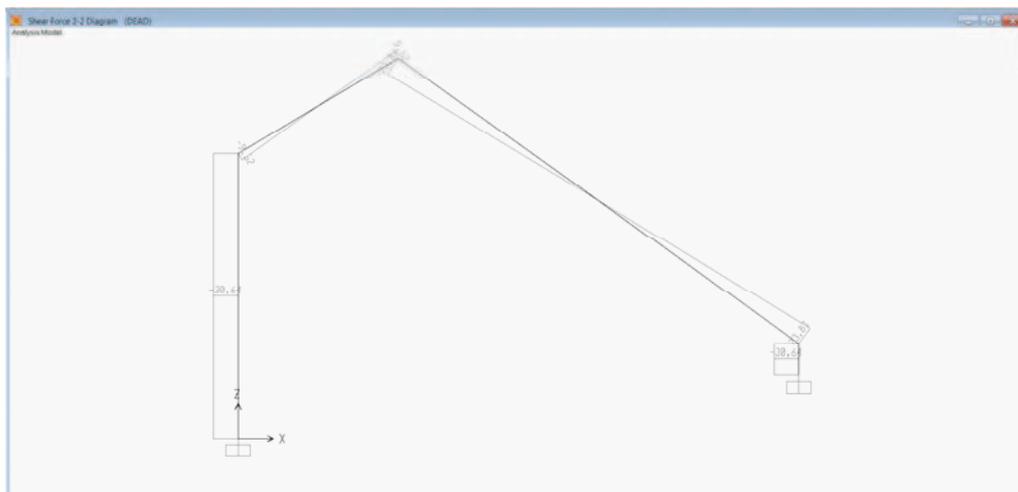


Fig. 15.28. - Diagramma delle azioni interne di taglio, schema statico 1.



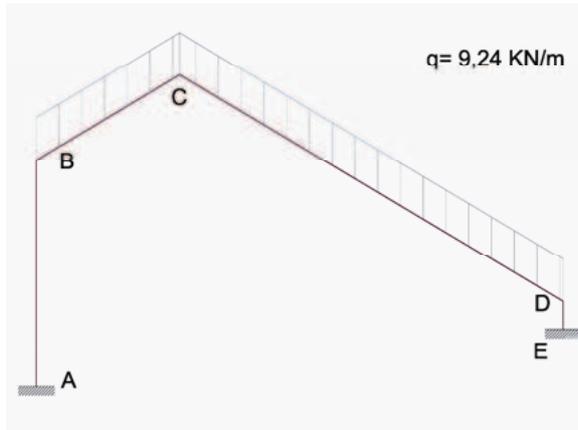
$$\begin{aligned}
 T_A &= -30,64 \text{ kN} \\
 T_{B(SX)} &= -30,64 \text{ kN} & T_{B(DX)} &= -9,52 \text{ kN}, \\
 T_{C(SX)} &= 9,52 \text{ kN} & T_{C(DX)} &= -23,81 \text{ kN}, \\
 T_{D(SX)} &= +23,91 \text{ kN} & T_{D(DX)} &= -30,64 \text{ kN}, \\
 T_E &= -30,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Schema statico 2

GDL: 3

GDV: 6 (struttura 2 volte iperstatica)

Fig. 15.29. - Schema statico 2.



Vantaggi: notevole riduzione dell'azione spingente sulla muratura al piede del portale, possibilità di utilizzo per tutto lo sviluppo di profilo HEB 160 senza incorrere in deformazioni eccessive dell'elemento. Movimentazione in copertura meno critica rispetto al profilo imbulonato.

Svantaggi: la saldatura dovrà avvenire in fabbrica, l'elemento dovrebbe quindi giungere all'area già completamente montato. Nel caso specifico del nostro cantiere questa opzione è impraticabile per l'impossibilità di attraversamento del sottopasso stradale in uscita dalla Tangenziale Est con altezza utile inferiore a quella data da (altezza da terra cassone + portale).

Diagrammi delle azioni interne e vincolari calcolate con software SAP2000

$$\begin{aligned}
 R_{AX} &= 15,48 \text{ kN}, & R_{AY} &= 34,93 \text{ kN}, \\
 R_{EX} &= 15,48 \text{ kN}, & R_{EY} &= 47,09 \text{ kN},
 \end{aligned}$$

Fig. 15.30. - Andamento della deformata, schema statico 2.



Il punto B risulta essere quello con il massimo valore di deformazione pari a 1,83 cm.

$$\begin{aligned}
 M_A &= 27,17 \text{ kNm} \\
 M_{B(SX)} &= -28,55 \text{ kNm} & M_{B(DX)} &= 28,55 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



$$M_C = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{D(SX)} = -33,99 \text{ kNm} \quad M_{D(DX)} = 33,99 \text{ kNm}$$

$$M_E = 27,79 \text{ kNm}$$

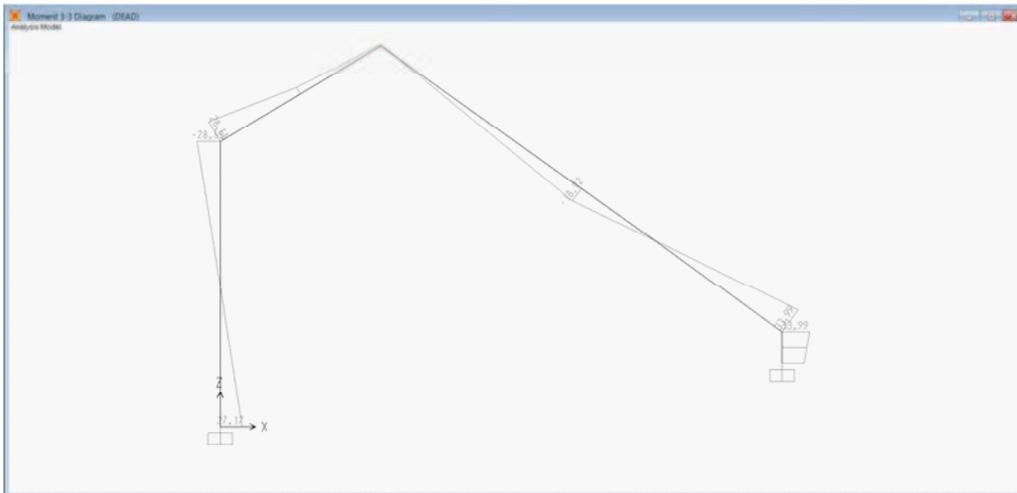


Fig. 15.31. -
Diagramma delle
azioni interne di
momento flettente,
schema statico 2.

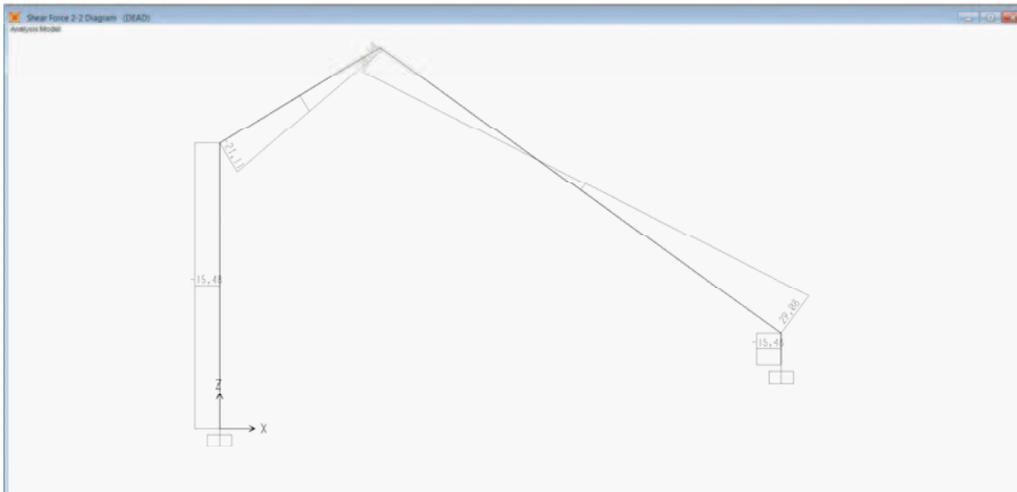


Fig. 15.32. -
Diagramma delle
azioni interne di
taglio, schema statico
2.

$$T_A = -15,48 \text{ kN}$$

$$T_{B(SX)} = -15,48 \text{ kN} \quad T_{B(DX)} = -21,11 \text{ kN},$$

$$T_{C(SX)} = 0,00 \text{ kN} \quad T_{C(DX)} = -18,54 \text{ kN},$$

$$T_{D(SX)} = +29,08 \text{ kN} \quad T_{D(DX)} = -15,48 \text{ kN},$$

$$T_E = -15,48 \text{ kN}$$

Schema statico 3

GDL: 6

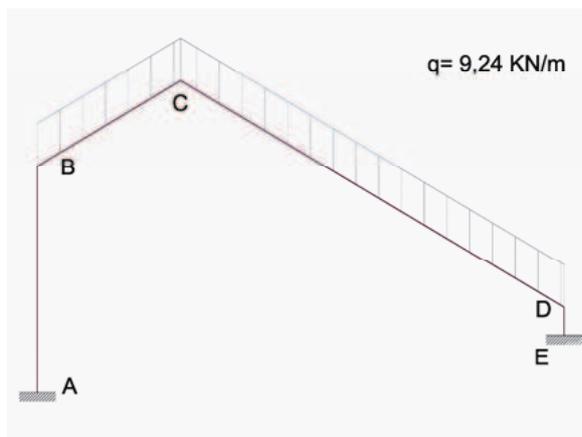
GDV: 8 (struttura 2 volte iperstatica)

Schema statico scelto per la progettazione dei portali di copertura degli edifici 2 e 3.

Vantaggi: riduzione dell'azione spingente sulla muratura al piede del portale, possibilità di utilizzo per tutto lo sviluppo di profilo HEA 160 senza incorrere in deformazioni eccessive dello elemento. Movimentazione in copertura meno critica rispetto a profilo imbullonato. È possibile trasportare la struttura in cantiere in due pezzi senza problematiche dimensionali.



Fig. 15.33. - Schema statico 3.



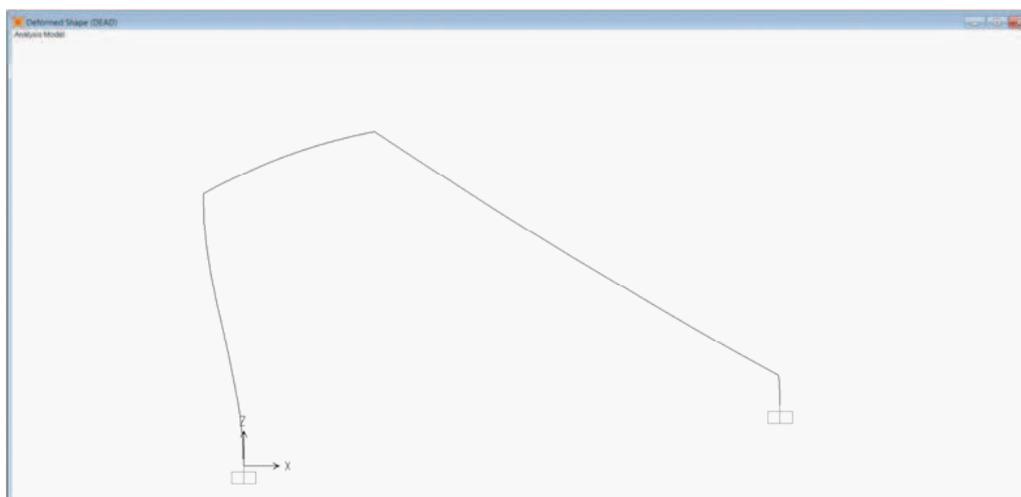
I due semiportali saranno saldati precedentemente in officina; unico vincolo da realizzare a piè d'opera sarà la cerniera centrale. Questo terzo schema è quello che meglio risponde a tutti i parametri strutturali e realizzativi.

Diagrammi delle azioni interne e vincolari calcolate con software SAP2000

$$R_{AX} = 14,95 \text{ kN}, \quad R_{AY} = 34,92 \text{ kN},$$

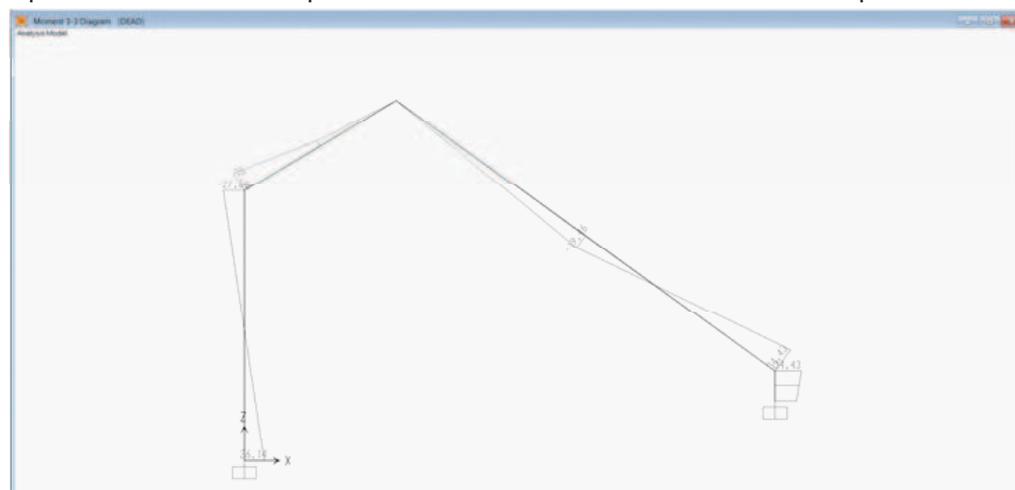
$$R_{EX} = 14,95 \text{ kN}, \quad R_{EY} = 47,10 \text{ kN},$$

Fig. 15.34. - Andamento della deformata, schema statico 3.



Il punto B risulta essere quello con il massimo valore di deformazione pari a 1,75 cm.

Fig. 15.35. - Diagramma delle azioni interne di momento flettente, schema statico 3.



$$M_A = 26,14 \text{ kNm}$$

$$M_{B(SX)} = -27,66 \text{ kNm} \qquad M_{B(DX)} = 27,66 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{D(SX)} = -34,43 \text{ kNm} \qquad M_{D(DX)} = 34,43 \text{ kNm}$$

$$M_E = 28,45 \text{ kNm}$$

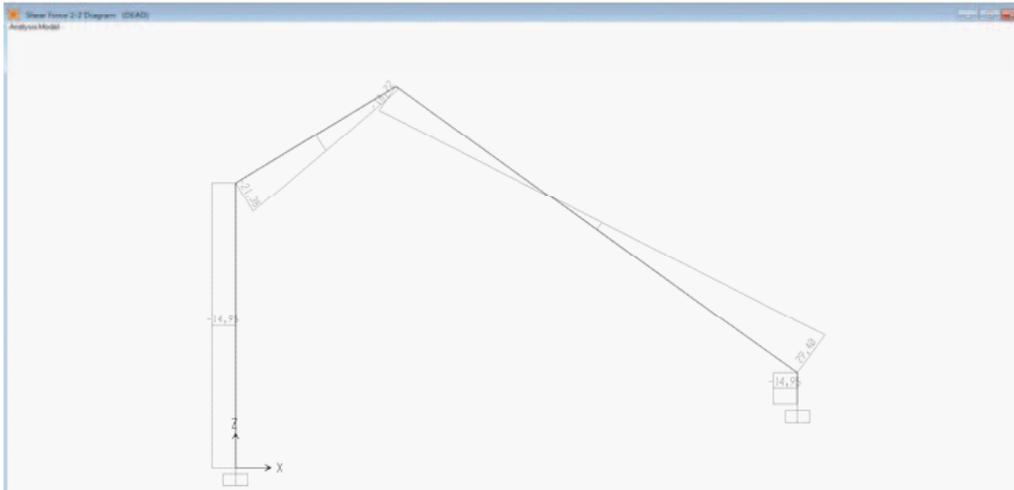


Fig. 15.36. - Diagramma delle azioni interne di taglio, schema statico 3.

$$\begin{aligned}
 T_A &= -14,95 \text{ kN} \\
 T_{B(SX)} &= -14,95 \text{ kN} & T_{B(DX)} &= -21,38 \text{ kN}, \\
 T_{C(SX)} &= 0,00 \text{ kN} & T_{C(DX)} &= -18,22 \text{ kN}, \\
 T_{D(SX)} &= +29,40 \text{ kN} & T_{D(DX)} &= -14,95 \text{ kN}, \\
 T_E &= -14,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

L'assorbimento delle azioni di taglio nel punto E (pari a 14,95 kN) è stato demandato alle staffe del cordolo perimetrale in c.a. Tale elemento consente di non trasmettere azioni orizzontali alla muratura sottostante.

Per il suo dimensionamento si dovranno garantire le seguenti condizioni:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= 1.5 * b = 1.5 * 300 \text{ mm} = 450 \text{ mm}^2/\text{m} & \text{(a)} \\
 \text{passo} &< 0.8 * d = 0.8 * 235 \text{ mm} = 188 \text{ mm} & \text{(b)} \\
 A_{s,max} &= 0.04 * A_c = 0.04 * (300 * 260) \text{ mm}^2 = 3120 \text{ mm}^2 & \text{(c)}
 \end{aligned}$$

Prevedendo l'utilizzo di staffe a 2 braccia si considerano 3 ipotesi:

$$\begin{aligned}
 \Phi 6 & \text{ area} = 28,28 \text{ mm}^2 * 2 = 56,56 \text{ mm}^2 \\
 \Phi 8 & \text{ area} = 50,24 \text{ mm}^2 * 2 = 100,48 \text{ mm}^2 \\
 \Phi 10 & \text{ area} = 78,50 \text{ mm}^2 * 2 = 157 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

| A min [mm ² /m] | Diametro [mm] | A _{1 barra} [mm ²] | N. staffe/m | Passo [mm] | N. bracci | N. bracci/m | A eff [mm ² /m] |
|----------------------------|---------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|----------------------------|
| 450 | 6 | 28.28 | 9 | 11 | 2 | 18 | 509.04 |
| 450 | 8 | 50.24 | 8 | 13 | 2 | 16 | 803.84 |
| 450 | 10 | 78.50 | 7 | 15 | 2 | 14 | 1099.00 |

Tab. 15.15. - Passo delle staffe per garantire il soddisfacimento delle prescrizioni minime indicate dalla normativa.

Scegliendo la seconda ipotesi, si procede di seguito con il calcolo del passo da attribuire alle staffe. Da normativa la formula per calcolare V_{Rd} è la seguente:

$$V_{Rd} = 0.9 * d * A_{sw}/s * f_{yd} * (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) * \text{sen } \alpha$$

Dove: θ è l'inclinazione dei puntoni di cls rispetto all'asse della trave e deve rispettare il seguente limite: $1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$;
 α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave: 90° .

Attribuendo a V_{Rd} il valore di V_{Ed} e considerando $\text{ctg } \theta = 1.5$, è possibile ricavare il rapporto A_{sw}/s tramite la formula inversa:

$$A_{sw}/s = V_{Ed} / (0.9 * d * f_{yd} * 1.5)$$



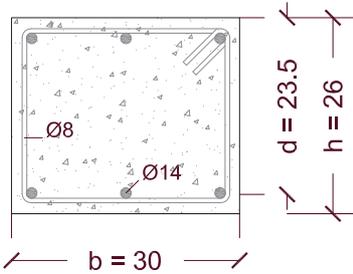
Considerando la doppia azione tagliante (verticale R_{EX} e orizzontale R_{EY}), il valore di $V_{Ed} = (47.10 + 14.95) \text{ kN} = 62.05 \text{ kN}$

Per cui nel punto E avremo:

$$A_{sw}/s = 62050 / (0.9 * 235 * 391.30 * 1.5) = 0.75$$

$$s_{\phi 8} = 100.48 / 0.75 = 133.97 \text{ mm} \rightarrow 13.4 \text{ cm}$$

Fig. 15.37. - Cordolo in c.a. di ancoraggio per i portali.



Questo valore rispetta sia la condizione **(b)**, infatti $13.4 \text{ cm} < 18.8 \text{ cm}$, sia la condizione **(a)**, infatti $A_{sw} = 753.6 \text{ mm}^2 > 450 \text{ mm}^2$.

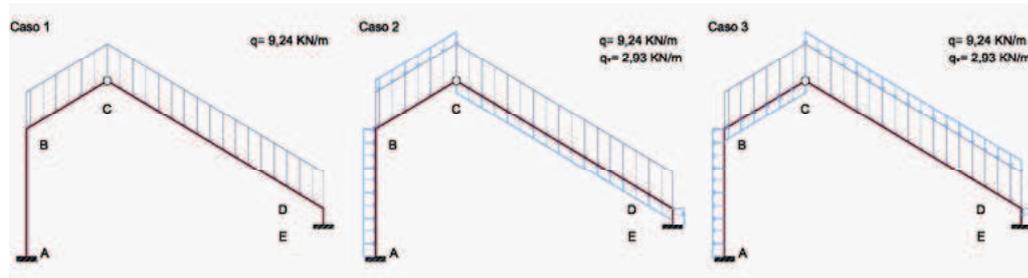
Di conseguenza la sezione del cordolo perimetrale è uguale a quella riportata nella figura a fianco.

Di conseguenza è possibile fare riferimento allo schema statico numero 3, utilizzando un profilo **HEB 160** lungo tutto il portale, il quale risulta verificato sia a livello di resistenza sia nel vincolo al piede (nodo E).

Per trovare i diagrammi delle azioni interne si è adottato il diagramma di involuppo ottenuto da 3 casi (caso 1, 2 e 3) i quali presentano diverse combinazioni di carico: nel primo non è stata considerata l'azione del vento, nel secondo e nel terzo sono stati aggiunti i carichi orizzontali nelle due direzioni.

Casi di carico per lo schema statico scelto

Fig. 15.38. - Combinazioni di carico.



Diagrammi di involuppo

Fig. 15.39. - Diagramma di involuppo delle azioni di taglio.

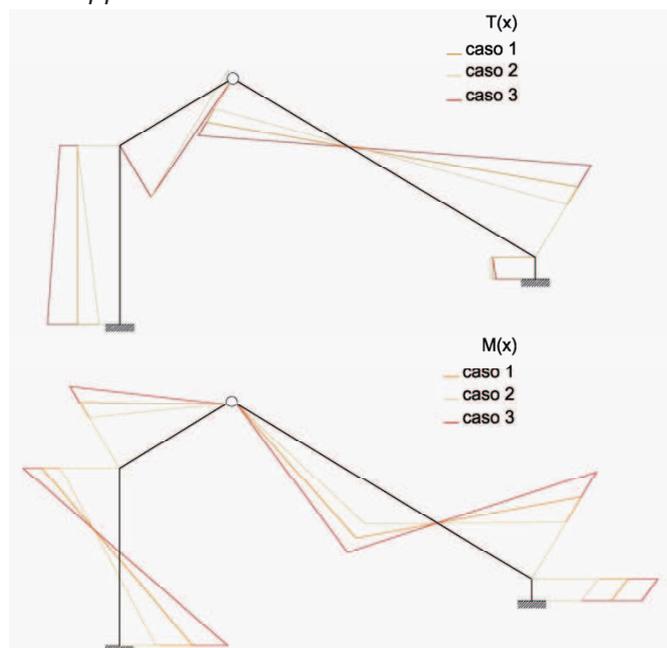
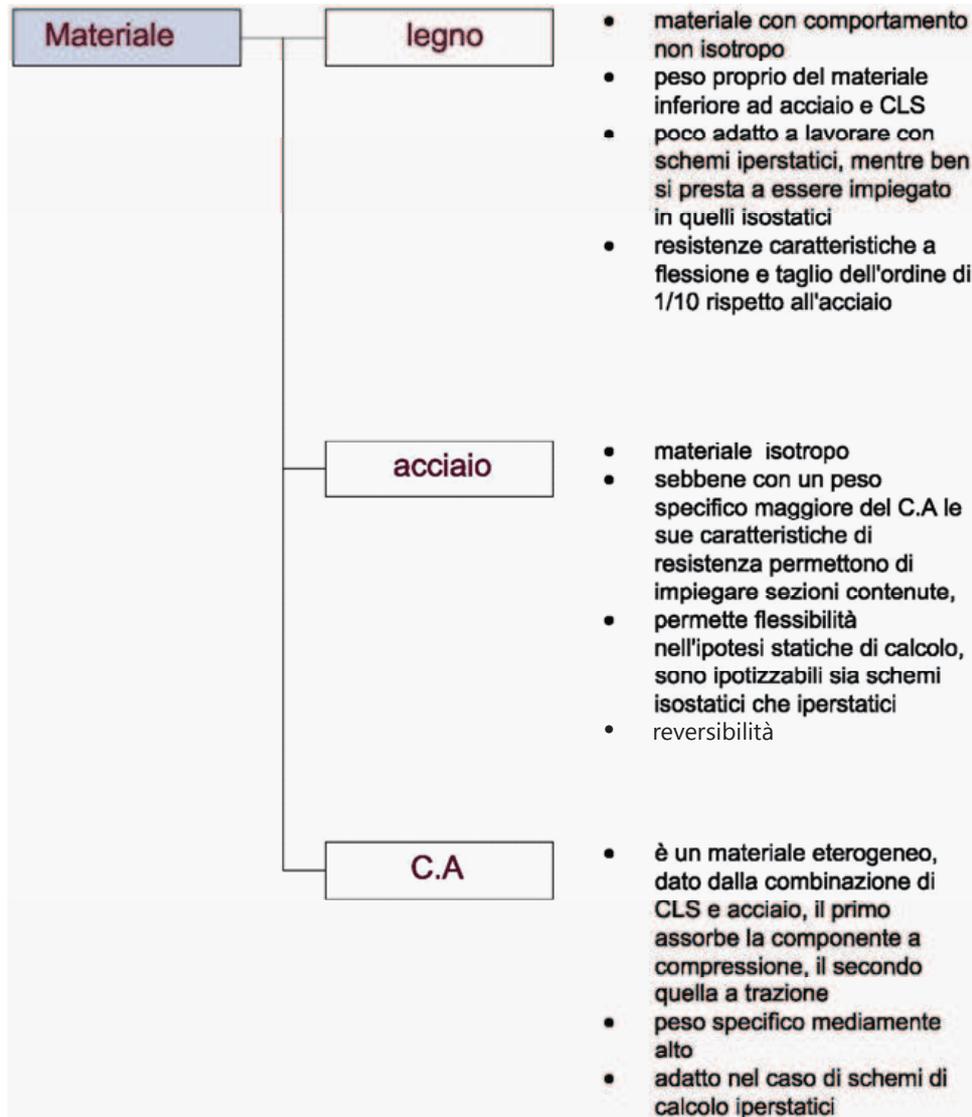


Fig. 15.40. - Diagramma di involuppo delle azioni di momento flettente.



15.2.2. Valutazione di possibili alternative strutturali

Il tema della sostituzione delle coperture a capriate lignee che attualmente coprono il corpo centrale degli edifici 2-3 può essere affrontato secondo approcci eterogenei. La soluzione progettuale definitiva - portali in acciaio sagomati per ricalcare il profilo del volume esistente - è infatti solo una delle possibili vie. Altre alternative si profilano già al momento della scelta del materiale che caratterizzeranno la struttura principale del tetto.



Si andrà ora ad approfondire la prima tra le alternative sopra individuate, evidenziando gli elementi di differenza, rispetto alla soluzione progettuale assunta, non solo dal punto di vista strutturale, ma anche compositivo e realizzativo.

Tecnologia di produzione

Il legno lamellare è un materiale da costruzione prefabbricato, la cui materia prima è il legno tagliato in assi (lamelle) di limitata larghezza e lunghezza, sovrapposte e legate tra loro mediante collanti ad alta resistenza, in modo da dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita.

Il processo di produzione del legno lamellare incollato può dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita.

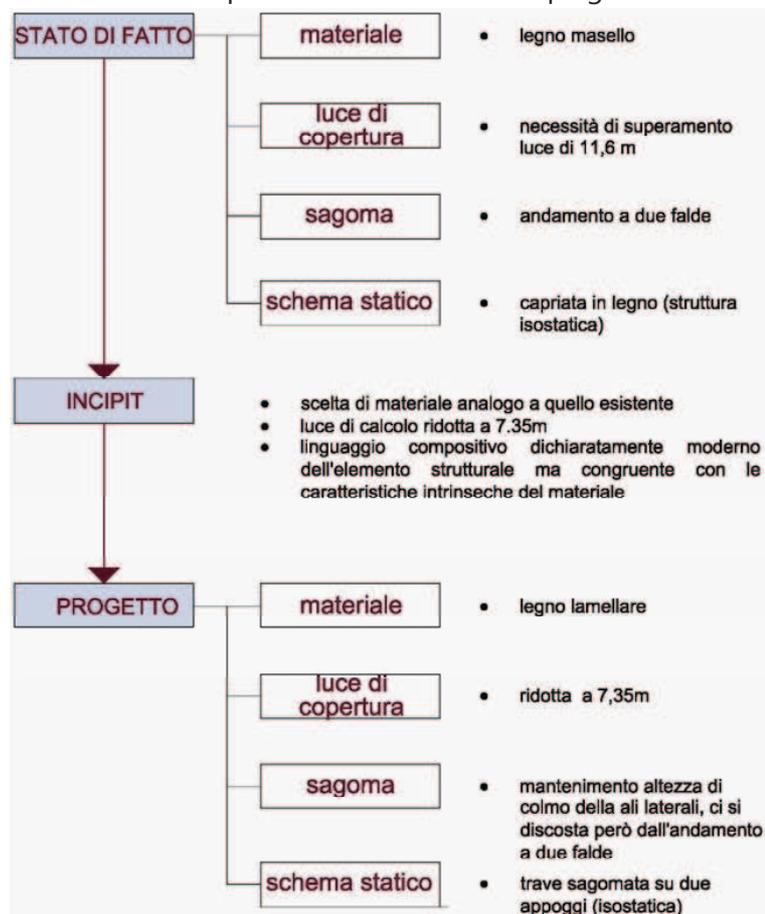


Le caratteristiche tecniche del prodotto finito dipendono dal materiale di base. Qualsiasi tipo di legname può essere potenzialmente utilizzato, anche se scelte tecnico-economiche indirizzano verso l'uso di legnami facilmente reperibili, in-collabili e meno costosi, compatibilmente ai requisiti richiesti.

Nella pratica costruttiva le lamelle hanno uno spessore intorno ai 33 mm e una larghezza pari a quella della sezione trasversale dell'elemento strutturale, normalmente variabile fra 10 e 22 cm. Nelle travi curve, per limitare le tensioni che possono nascere in direzione sia parallela sia normale alle fibre, il raggio di curvatura degli elementi deve essere pari almeno a 200 volte lo spessore delle singole lamelle. L'umidità è uno dei parametri più importanti del legno poiché ne influenza tutte le caratteristiche, sia fisiche che meccaniche. La fase di essiccazione, dunque, è tesa a ottenere quel grado di umidità del legno compatibile col tipo di colla. Fra due lamelle successive però la differenza di umidità non deve superare il 4%. Le colle e le operazioni di incollaggio costituiscono una fra le operazioni più importanti e delicate: le resistenze fisico-meccaniche del collante devono essere almeno eguali a quelle del legno¹¹.

Scelte statiche e architettoniche

Ipotizzare per la nuova copertura una struttura in legno con un approccio innovativo si inserisce coerentemente all'interno della metodologia progettuale seguita fin'ora. Se per la pelle esterna si è mantenuto l'uso del cotto, reinterpretandolo attraverso l'uso a lamella, qui l'utilizzo del legno viene ripensato fin dalla scelta dello schema statico, staccandosi dai tradizionali schemi a capriata per abbracciare forme che solo la tecnologia del lamellare hanno reso possibili. Il legno rientra tra gli schemi isostatici che annullano quasi totalmente l'azione spingente sulla muratura.



¹¹ M. PARADISO, *Il legno lamellare*, www.edilweb.it



L'opzione finale vagliata nel caso di copertura ex-novo in legno prevede l'impiego di un'orditura principale con travi lamellari curve in semplice appoggio aventi un interasse di 3,60 m che scaricano le azioni in corrispondenza dei maschi murari continui. Elementi strutturali secondari sono i travetti in legno e l'assito sul quale posare gli strati che compongono il pacchetto di finitura. La controventatura della è garantita da tiranti diagonali in acciaio.



Fig. 15.41. - Schema statico del portale in legno lamellare.

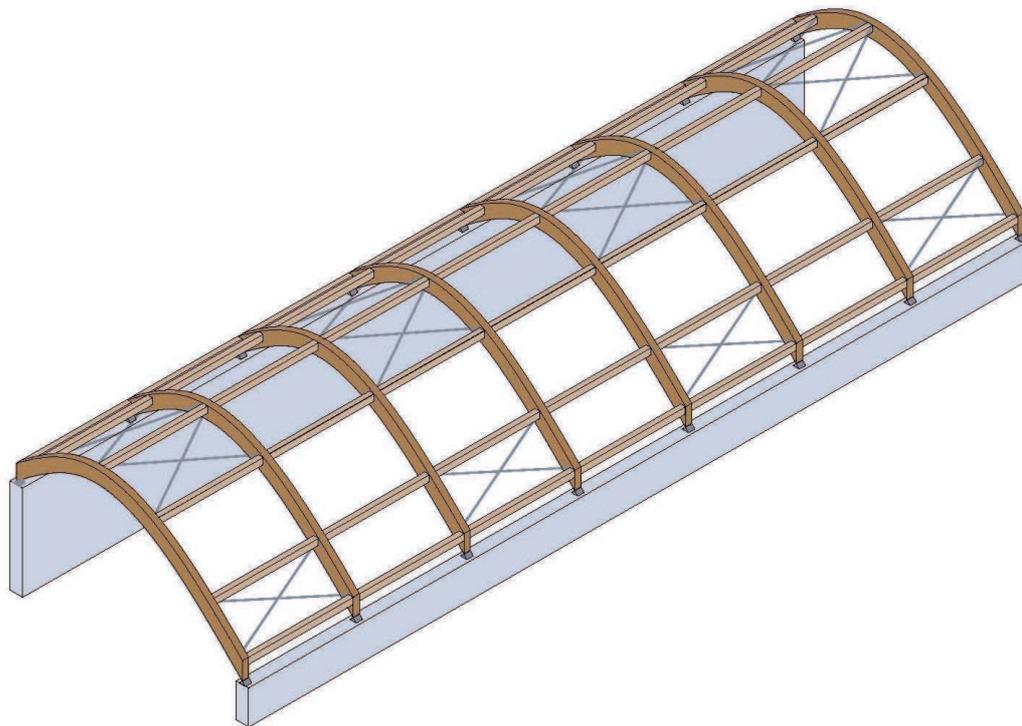


Fig. 15.42. - Assonometria della struttura della copertura lignea.

Predimensionamento

Per un primo dimensionamento della struttura principale ipotizzata è stata apporata un'ulteriore semplificazione del modello statico, riducendo la struttura a una trave con andamento rettilineo in semplice appoggio uniformemente caricata. Tale ipotesi non considera la non perpendicolarità del carico rispetto alla fibra - come invece avviene nel caso reale - ma è comunque possibile in una fase valutativa preliminare.

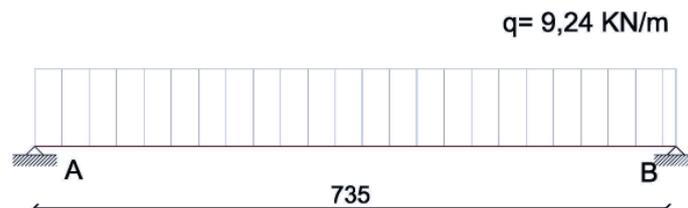


Fig. 15.43. - Schema statico trave lamellare.

Il foglio di calcolo appositamente redatto per le verifiche si basa su quanto previsto dalle NTC 2008 per le strutture portanti in legno lamellare.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti:



DATI DI PROGETTO

Caratteristiche geometriche

Luce di calcolo: L = 7350 [mm]
 Interasse tra le travi principali: l = 3600 [mm]
 Base della sezione: b = 200 [mm]
 Altezza della sezione: h = 450 [mm]
 Area sezione: A = 90000 [mm²]
 Modulo di resistenza: W_y = 6,750E+06 [mm³]
 W_x = 3,000E+06 [mm³]
 Momento d'inerzia: J_y = 1,519E+09 [mm⁴]
 J_x = 3,000E+08 [mm⁴]

Carichi

1) Peso proprio travi principali: 0,10 [kN/m²]
 2) Peso proprio pannelli / assito: 0,00 [kN/m²]
 Peso proprio del pacchetto strutturale: G_{0,1} = 0,10 [kN/m²]
 1) Sottofondo: 0,00 [kN/m²]
 2) Pavimento: 0,00 [kN/m²]
 3) Tramezzi: 0,00 [kN/m²]
 4) Isolante: 0,00 [kN/m²]
 5) Altri permanenti: 1,23 [kN/m²]
 Carichi non strutturali e portati: G_{0,2} = 1,23 [kN/m²]

Carico variabile: Q₀ = 1,20 [kN/m²]

Caratteristiche del materiale

Materiale: Legno lamellare incollato
 Classe di resistenza (Gruppo EN 338 / EN 11035): GL24h
 Classe di servizio: Classe di servizio 2

- Classe di servizio 2: è caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare.

Coefficiente parziale per il materiale: γ_m = 1,45 [-]
 Coefficiente di deformazione: k_{def} = 0,80 [-]

Combinazione I - perm. + acc. Breve durata (meno di 1 settimana) - Neve
 k_{mod,I} = 0,90

Combinazione II - perm. Permanente (più di 10 anni) - Peso proprio
 k_{mod,II} = 0,60

| Valori caratteristici | Valori di progetto | k _{mod,I} | k _{mod,II} | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| f _{m,k} [MPa] 24,00 | f _{m,d} [MPa] 14,90 | 0,90 | 0,60 | Flessione |
| f _{t,k,} [MPa] 16,50 | f _{t,d,} [MPa] 10,24 | | | Trazione parallela alle fibre |
| f _{t,k,⊥} [MPa] 0,40 | f _{t,d,⊥} [MPa] 0,25 | | | Trazione ortogonale alle fibre |
| f _{c,k,} [MPa] 24,00 | f _{c,d,} [MPa] 14,90 | | | Compress. parallela alle fibre |
| f _{c,k,⊥} [MPa] 2,70 | f _{c,d,⊥} [MPa] 1,68 | | | Compress. ortogonale alle fibre |
| f _{v,k} [MPa] 2,70 | f _{v,d} [MPa] 1,68 | | | Taglio |

Rigidezza

Modulo elastico parallelo medio: E_{0,mean} = 11600 [MPa]
 Modulo elastico ortogonale medio: E_{0,orth} = 390 [MPa]
 Modulo elastico parallelo caratteristico: E_{0,05} = 9400 [MPa]
 Modulo elastico tangenziale medio: G_{mean} = 720 [MPa]

Massa

Massa volumica caratteristica: ρ_k = 3,80 [kN/m³]

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Carichi permanenti: γ₀₁ = 1,30
 Carichi permanenti non strutturali: γ₀₂ = 1,30
 Carichi variabili: γ₀ = 1,50

| Combinazione di carico | Carico F _d [kN/m] | M ₁ [kNm] | V ₁ [kN] | σ ₁ [MPa] | σ ₂ [MPa] | τ ₁ [MPa] | τ ₂ [MPa] | NOTE |
|------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|
| I perm+acc. | 13,59 | 91,76 | 49,94 | 13,59 | 14,90 | 0,83 | 1,68 | Verificato |
| II perm. | 7,11 | 48,00 | 26,12 | 7,11 | 9,93 | 0,44 | 1,12 | Verificato |

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Si devono effettuare verifiche di deformazione istantanea e differita, nell'ipotesi di controflessa nulla.

Limite freccia istantanea: l/300
 Limite freccia differite: l/200
 Coefficiente riduttivo k_{def}: 0,20 [-]
 Coefficiente: γ = 1,20 [-]

Freccia istantanea (carichi permanenti): u_{1,ist} = 10,92 [mm]
 Freccia istantanea (carichi variabili): u_{2,ist} = 9,86 [mm]
 Freccia netta finale: u_{net,fin} = 31,09 [mm]

u_{1,ist} = 9,86 [mm] < u_{1,lim} = 24,50 [mm] Verificato
 u_{net,fin} = 31,09 [mm] < u_{net,lim} = 36,75 [mm] Verificato

$$u_{1,ist} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{E_{0,mean} I} + \gamma \frac{q_k l^2}{8 G_{mean} A}$$

$$u_{2,ist} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^4}{E_{0,mean} I} + \gamma \frac{q_k l^2}{8 G_{mean} A}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} (1 + k_{def}) + u_{2,ist} (1 + \gamma_2 k_{def})$$

Valutazioni conclusive

L'ipotesi di progetto con struttura in legno lamellare dal punto di vista realizzativo prevede tempi complessivi maggiori di quella a portali in acciaio. Questo non tanto per quanto concerne la parte di messa in opera della struttura in legno, bensì per la necessità di elevazione della muratura portante fino alla nuova quota di imposta delle travi sagomate. Si ricordi inoltre che il cambio di forma della copertura dovrebbe essere validato dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici, essendo gli edifici sottoposti a vincolo da parte della stessa.



15.2.2. Soppalchi in acciaio

_ ANALISI DEI CARICHI

Carichi permanenti non strutturali (G2)

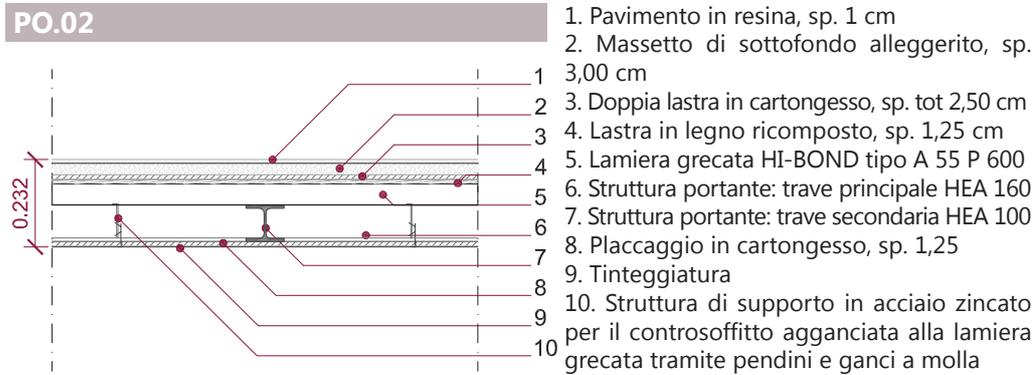


Fig. 15.44. - Dettaglio costruttivo solaio di copertura CO.02 in scala 1:20.

| Strati | Spessore [m] | Peso specifico [kN/m ³] | Peso [kN/m ²] |
|--|--------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Pavimento in resina | 0.010 | 0,04 | 0.001 |
| Massetto di sottofondo alleggerito | 0.030 | 16.00 | 0.480 |
| Lastra in cartongesso | 0.013 | 10.40 | 0.135 |
| Lastra in legno ricomposto | 0.013 | 4.50 | 0.056 |
| Placcaggio in cartongesso | 0.013 | 10.40 | 0.135 |
| Struttura di supporto in acciaio zincato | - | - | 0.150 |
| <i>Totale carichi permanenti non strutturali</i> | | G_{2,1} | 0.957 |

Tab. 15.16 - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di copertura.

Carichi variabili (Q)

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. I valori nominali e/o caratteristici sono riportati nella seguente tabella:

| Cat. | Ambienti | q _k [kN/m ²] | Q _k [kN] | H _k [kN/m] |
|------|--|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| A | Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi, (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento) | 2.00 | 2.00 | 1.00 |
| B | Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico | 2.00 3.00 | 2.00 2.00 | 1.00 1.00 |
| C | Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi 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 | 3.00 4.00 5.00 | 2.00 4.00 5.00 | 1.00 2.00 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** — |

Tab. 15.17. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici.



Lamiera grecata

Si è scelto di adottare lo schema statico di una trave appoggio-appoggio con carico uniformemente distribuito.

Il carico di progetto è stato ottenuto attraverso la combinazione *SLE rara*⁸:

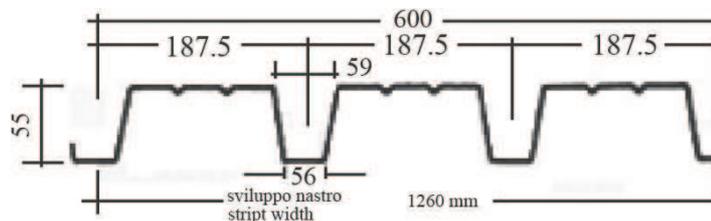
$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + Q_{k2} * \psi_{02} = [0,105 + 0,957 + 2,000 + (0,5*0)] \text{ kN/m}^2 = 3,065 \text{ kN/m}^2$$

Consultando le tabelle della lamiera grecata HI Bond A 55 P.600 ($p_{lam} = 0,1045 \text{ kN/m}^2$) sono stati stabiliti:

- lo spessore della lamiera 0,80 mm
- la distanza massima degli appoggi 2,00 m

verificando che il carico agente sulla stessa e la freccia abbiano un valore minore di quelli tabellati.

Fig. 15.45. - Caratteristiche geometriche della lamiera HI-Bond A55 P.600.



$$f = 5pL^4 / 384 E J_{(tab)} = 1,72 \text{ mm} < 7,90 \text{ mm}$$

$$q = 3,065 \text{ kN/m}^2 < 4,40 \text{ kN/m}^2$$

Verificato
Verificato

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

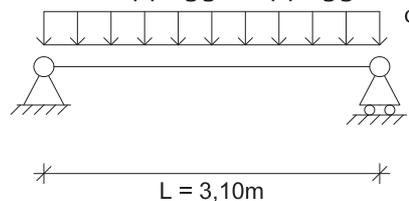
Tab. 15.18. - Caratteristiche meccaniche della lamiera HI-Bond A55 P.600.

| Spessore mm | 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 |

Di conseguenza il valore di interasse max di progetto è stato fissato a 1,40 m.

Trave secondaria

L'orditura secondaria della struttura di solaio è riconducibile a uno schema statico di semplice trave con vincolo appoggio-appoggio uniformemente caricata.



(E' stata presa in considerazione la trave secondaria di lunghezza maggiore posta tra la campata 9 e 10).



_ Stato Limite di Esercizio (SLE)

Per la determinazione del carico q agente sulla trave, è stata utilizzata la *combinazione di carico rara* moltiplicata per la larghezza dell'area di influenza max :

$$q = (G_1 + G_2 + Q_{1,k}) * i = 3,065 \text{ kN/m}^2 * 1,20 \text{ m} = 3,678 \text{ kN/m}$$

Il carico così ottenuto 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. 15.19.

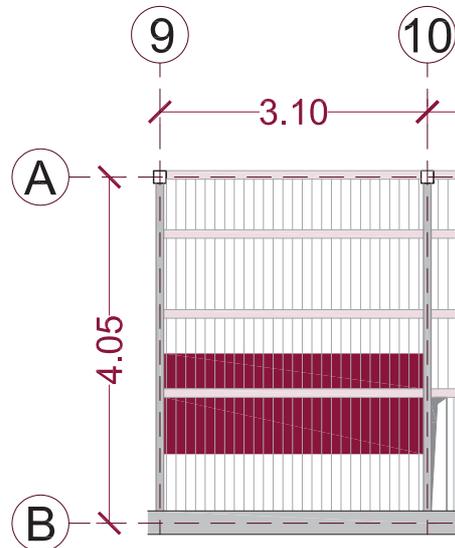


Fig. 15.46. - Schema che evidenzia l'area di influenza della trave secondaria.

| 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.

Tab. 15.19. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Una trave appoggio-appoggio uniformemente caricata presenta freccia massima in mezzeria e si ricava mediante la seguente formula:

$$F_{max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a $1/250$ della luce:

$$L/250 = 5/384 * (qL^4 / EJ) \rightarrow J = 1250/384 * (qL^3 / E)$$

Il valore di J così calcolato è pari a $170,00 \text{ cm}^4$. Si è scelto il profilo da prontuario HEA 100 ($h = 96 \text{ mm}$):

| b [mm] | t_w [mm] | t_f [mm] | r [mm] | A [mm ²] | I_y [mm ⁴] | W_{pl} [mm ³] |
|--------|------------|------------|--------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 100 | 5,0 | 8,0 | 12 | 2120 | 3490000 | 83000 |

Essendo l'inerzia della HEA 100 superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta verificato.



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

$$(3,68 + 0,17) \text{ kN/m} = 3,85 \text{ kN/m}$$

A questo punto è possibile effettuare le verifiche a deformazione:

$$\delta_2 = 5/384 * [(P_{Q1(SLE)} * L^4) / EJ] = 5/384 * [2,00 \text{ N/mm} * (3100 \text{ mm})^4] / 210000 \text{ N/mm}^2 * 3490000 \text{ mm}^4 = 3,28 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 5/384 * [(P_{tot(SLE)} * L^4) / EJ] = 5/384 * [3,85 \text{ N/mm} * (3100 \text{ mm})^4] / 210000 \text{ N/mm}^2 * 3490000 \text{ mm}^4 = 6,31 \text{ mm}$$

$$\delta_2 / L = 3,28/3100 < 1/300 \quad \text{e} \quad \delta_{max} / L = 6,31/3100 < 1/250 \quad \text{verificato}$$

_ Stato Limite Ultimo (SLU)

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

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

I fattori moltiplicativi γ sono tratti dalla Tab. 15.20. e, fra le due condizioni previste, si è sempre scelta quella sfavorevole (in favore di sicurezza):

Tab. 15.20. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

| | | Coefficiente γ_F | EQU | A1 STR | A2 GEO |
|---|-------------|-------------------------|-----|--------|--------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | sfavorevoli | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Q1} | 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.

$$q_{G1} = \gamma_{G1} G_1 = (0,105 \text{ kN/m}^2 * 1,20 \text{ m} + 0,17 \text{ kN/m}) * 1,3 = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$q_{G2} = \gamma_{G2} G_2 = (0,96 \text{ kN/m}^2 * 1,20 \text{ m}) * 1,5 = 1,73 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q1} = \gamma_{Q1} Q_{1,k} = (2,00 \text{ kN/m}^2 * 1,20 \text{ m}) * 1,5 = 3,60 \text{ kN/m}$$

$$q_{tot} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{1,k} = (0,39 + 1,73 + 3,60) \text{ kN/m} = 5,72 \text{ kN/m}$$

Flessione monoassiale retta

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

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

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

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} * f_{yk}) / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2}$$

Il momento resistente è pari a:

$$M_{c,Rd} = (83000 \text{ mm}^3 * 275 \text{ N/mm}^2) / 1,05 = 21738095 \text{ Nmm} = 21,74 \text{ kNm}$$

Il momento massimo in mezzeria è pari a:

$$M_{Ed} = (q_{tot} * L^2) / 8 = (5,72 * 3,10^2) / 8 = 6,87 \text{ kNm}$$

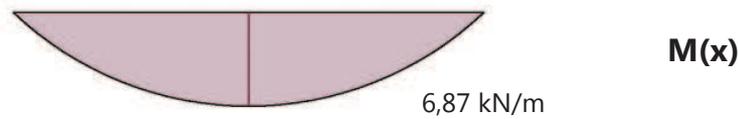


Fig. 14.47. - Diagramma del momento flettente.

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 6,87 / 21,74 = 0,32 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

Verifica a taglio

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

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

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

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

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = 21,20 - 2 * 10 * 0,8 + (0,5 + 2 * 1,2) * 0,8 = 7,52 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_v * f_{yk} / \sqrt{3} * \gamma_{M0} = (752 \text{ mm}^2 * 275 \text{ N/mm}^2) / (\sqrt{3} * 1,05) = 113,71 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = (q_{tot} * L) / 2 = (7,11 \text{ kN/m} * 3,60 \text{ m}) / 2 = 8,87 \text{ kN}$$

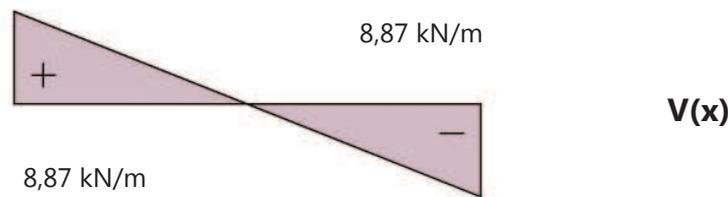


Fig. 15.48. - Diagramma del taglio.

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 8,87 / 113,71 = 0,08 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

Trave principale

Per calcolare il carico effettivo sulla trave principale viene usato uno schema iperstatico con trave incastro-appoggio caricata con pesi verticali concentrati, P, che rappresentano la travatura secondaria, da cui si ricava il diagramma del momento.

Il valore di P viene ricavato come somma delle forze risultanti derivanti dal taglio della struttura secondaria (*SLE rara*).

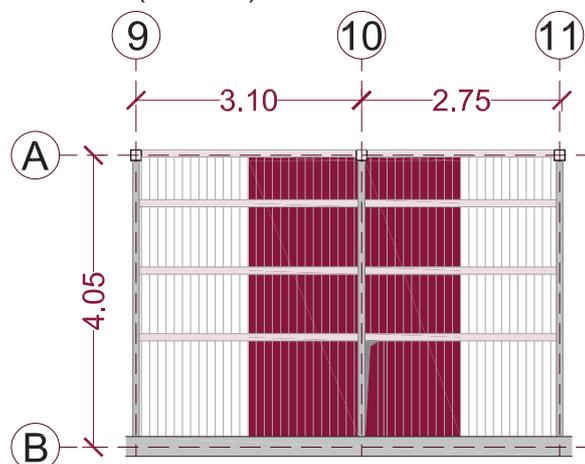
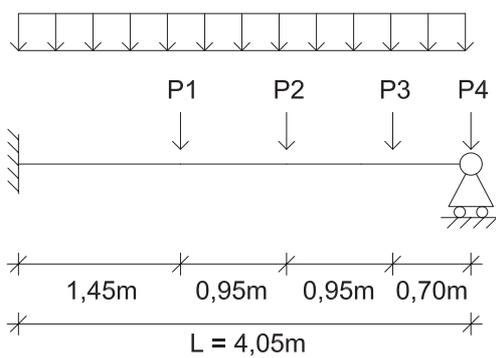


Fig. 15.49. - Area d'influenza trave principale.



Fig. 15.50. - Schema statico della trave principale.



P_p Sommando i valori dei carichi a destra e a sinistra della trave - che sono numericamente diversi poichè a destra l'interasse è 2,75 m e a sinistra è 3,10 m - si ottengono i seguenti valori

$$P1 = (5,96 + 5,30) \text{ kN} = 11,26 \text{ kN}$$

$$P2 = (4,78 + 4,24) \text{ kN} = 9,02 \text{ kN}$$

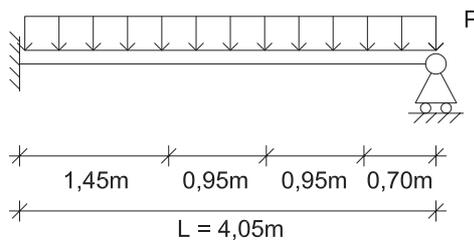
$$P3 = (4,06 + 3,60) \text{ kN} = 7,66 \text{ kN}$$

$$P4 = (1,92 + 1,48) \text{ kN} = 3,40 \text{ kN}$$

_ Stato Limite di Esercizio (SLE)

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 di esercizio (*rara*).

Per il calcolo della freccia e la conseguente determinazione del parametro J, i carichi puntuali sono stati considerati come un carico distribuito lungo tutta la lunghezza della trave:



$$P = (P1+P2+P3) / L =$$

$$= (11,26 + 9,02 + 7,66) \text{ kN} / 4,05 \text{ m} =$$

$$= 6,89 \text{ kN/m}$$

Si trascura il carico P4 poichè scarica direttamente sul pilastro.

Una trave incastro-appoggio uniformemente caricata presenta freccia massima in mezzeria e si ricava mediante la seguente formula:

$$F_{max} = 2/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a 1/200 della luce:

$$L/250 = 2/384 * (qL^4 / EJ) \rightarrow J = 500/384 * (qL^3 / E)$$

Il valore di J così calcolato è pari a 283,79 cm⁴. Per motivi costruttivi, si è scelto il profilo da prontuario IPE 160:

| b [mm] | t _w [mm] | t _r [mm] | r [mm] | A [mm ²] | I _y [mm ⁴] | W _{pl} [mm ³] |
|--------|---------------------|---------------------|--------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 82 | 5,0 | 7,4 | 9 | 2010 | 8690000 | 123800 |

Essendo l'inerzia della IPE 160 superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta verificato.

_ Stato Limite Ultimo (SLU)

Flessione monoassiale retta

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

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

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

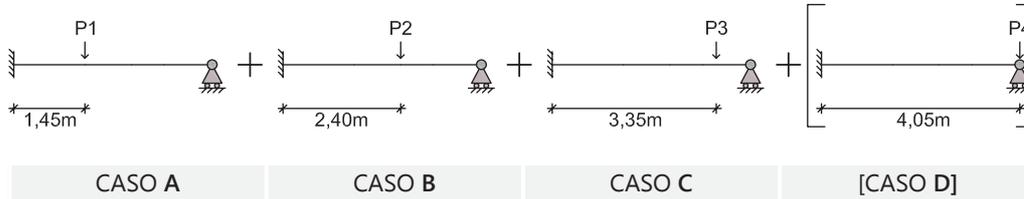
$$M_{c,Rd} = (W_{pl} * f_{yk}) / \gamma_{M0} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2}^9$$



Il momento resistente è pari a:

$$M_{c,Rd} = (123800 \text{ mm}^3 * 275 \text{ N/mm}^2) / 1,05 = 32423809 \text{ Nmm} = 32,42 \text{ kNm}$$

Il momento sollecitante M_{Ed} sulla trave principale è stato calcolato, affidandoci a schemi statici noti, per sovrapposizione degli effetti (si considera P_p trascurabile):



| | |
|------------------|---|
| <p>A)</p> | $M_A^B = -12,79 \text{ kNm}$ $M_B^B = M_A + V_A x = 7,365 \text{ kNm}$ $M_C^B = V_E * EC = 4,67 \text{ kNm}$ $M_D^B = V_E * ED = 1,98 \text{ kNm}$ $M_E^B = 0 \text{ kNm}$ |
| <p>B)</p> | $M_A^C = -9,19 \text{ kNm}$ $M_B^C = M_A + V_A x = 1,99 \text{ kNm}$ $M_C^C = M_A + V_A x = 9,31 \text{ kNm}$ $M_D^C = V_E * ED = 3,96 \text{ kNm}$ $M_E^C = 0 \text{ kNm}$ |
| <p>C)</p> | $M_A^D = -3,85 \text{ kNm}$ $M_B^D = M_A + V_A x = 0,384 \text{ kNm}$ $M_C^D = M_A + V_A x = 3,158 \text{ kNm}$ $M_D^D = V_E * ED = 5,91 \text{ kNm}$ $M_E^D = 0 \text{ kNm}$ |

Di conseguenza è possibile calcolare i momenti e tracciarne il grafico:

$$M_A = M_A^B + M_A^C + M_A^D = (-12,79 - 9,19 - 3,85) \text{ kNm} = -25,83 \text{ kNm}$$

$$M_B = M_B^B + M_B^C + M_B^D = (7,365 - 1,99 - 0,384) \text{ kNm} = 9,47 \text{ kNm}$$

$$M_C = M_C^B + M_C^C + M_C^D = (4,67 - 9,31 - 3,158) \text{ kNm} = 17,14 \text{ kNm}$$

$$M_D = M_D^B + M_D^C + M_D^D = (1,98 - 3,96 - 5,91) \text{ kNm} = 11,85 \text{ kNm}$$

$$M_E = 0 \text{ kNm}$$

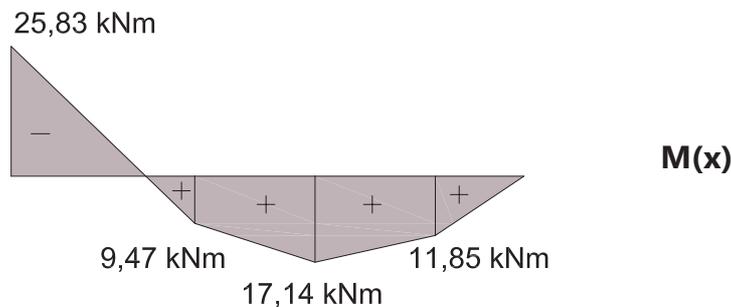


Fig. 15.51. - Diagramma del momento flettente.

Il momento max agente sulla struttura è quello all'incastro.

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 25,83 / 32,42 = 0,80 \leq 1 \quad \text{verificato}$$



Verifica a taglio

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

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

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

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

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere:

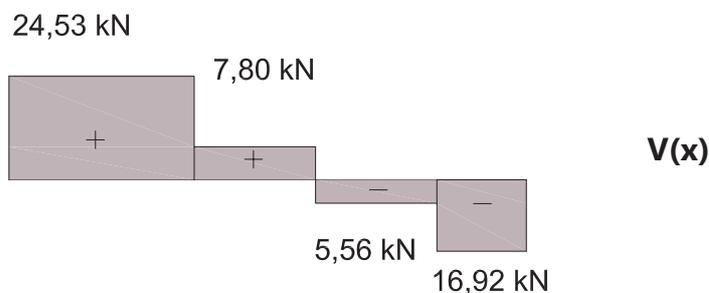
$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = 20,1 - 2 * 8,2 * 0,74 + (0,5 + 2 * 0,9) * 0,74 = 9,67 \text{ cm}^2$$

Il taglio resistente risulta:

$$V_{c,Rd} = A_v * f_{yk} / \sqrt{3} * \gamma_{M0} = (967 \text{ mm}^2 * 275 \text{ N/mm}^2) / (\sqrt{3} * 1,05) = 146,22 \text{ kN}$$

Il diagramma del taglio (risultante dalla sovrapposizione degli effetti) è il seguente:

Fig. 15.52. - Diagramma del taglio.



$$V_{Ed,max} = (13,90 + 7,71 + 2,92) \text{ kN} = 24,53 \text{ kN}$$

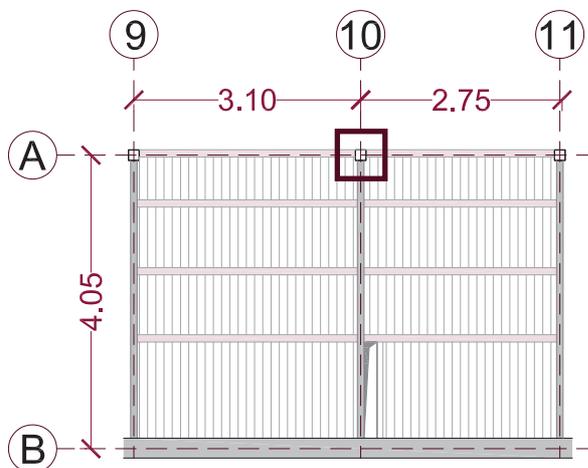
$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 24,53 / 146,22 = 0,17 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

Piastro maggiormente sollecitato

La compressione delle strutture in acciaio è fortemente influenzata dal fenomeno dell'instabilità: per questo motivo la lunghezza dell'asta ha un'importanza notevole nei confronti del carico di rottura .

La pianta strutturale sotto riportata evidenzia il pilastro maggiormente sollecitato che sarà in seguito verificato.

Fig. 15.53. - Pianta strutturale: pilastro maggiormente sollecitato.





Per effettuare il dimensionamento della sezione del pilastro maggiormente sollecitato occorre calcolare l'azione di compressione di calcolo data dalla sommatoria delle azioni assiali N agli SLU convergenti sul pilastro.

Il valore di N_{Ed} agente sul pilastro del piano tipo è dato dalle reazioni vincolari della trave principale e delle due travi secondarie che scaricano sullo stesso. Il valore di N al piano terra si ottiene moltiplicando l'azione assiale del piano tipo per il numero complessivo dei piani ($n = 2$).

Considerando il peso proprio della trave principale (omesso nei calcoli precedenti) IPE 160 con peso proprio pari a 0,16 kN/m si ottengono i seguenti valori:

$$N_{\text{trave bordo sx,SLU}} = [\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{1,k}] * L_{\text{sx}} / 2 = \\ = [(0,105 * 0,35 + 0,17) * 1,3 + (0,96 * 0,35) * 1,5 + (2,00 * 0,35) * 1,5] * 3,10 / 2 = \\ = 2,83 \text{ kN}$$

$$N_{\text{trave bordo dx,SLU}} = [\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{1,k}] * L_{\text{dx}} / 2 = \\ = [(0,105 * 0,35 + 0,17) * 1,3 + (0,96 * 0,35) * 1,5 + (2,00 * 0,35) * 1,5] * 2,75 / 2 = \\ = 2,51 \text{ kN}$$

$$N_{\text{trave principale,SLU}} = \sum V_E = (2,83 + 5,65 + 8,44) \text{ kN} = 16,92 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed,tot,SLU}} = (5,34 * 2) + (16,92 * 2) \text{ kN} + (0,324 * 2) \text{ kN} = 45,17 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \pi^2 EJ / L_0^2 \rightarrow J = N_{cr} * 10^2 / \pi * E$$

$$J = (45,17 * 10^3 \text{ kN/m} * 6,00 * 10^3 \text{ m}) / (\pi^2 * 210000 \text{ N/mm}^2) = 130,76 * 10^4 \text{ mm}^4$$

E' stato scelto un profilo scatolare di sezione quadrata 140x140, il quale presenta un'inerzia maggiore di quella calcolata. Le caratteristiche del profilo sono:

| b [mm] | s [mm] | A [mm ²] | I _y [mm ⁴] | W [mm ³] |
|--------|--------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 150 | 5,0 | 2287 | 12680000 | 107100 |

$$N_{cr} = \pi^2 EJ / L_0^2 = (\pi^2 * 210000 \text{ N/mm}^2 * 12680000 \text{ mm}^4) / 6000^2 \text{ m}^2 = 730 \text{ kN}$$

Verifica a stabilità

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):

$$N_{b,Rd} = \chi A f_{yk} / \gamma_{ml}$$

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:

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

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

α è il fattore di imperfezione ricavato dalla Tab. 15.21.

¹² Il profili scatolari rientrano nelle sezioni di classe 1 (cfr. NTC 2008).



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

$$\lambda = \sqrt{(A f_{yk} / N_{cr})}$$

Tab. 15.21. - Curve d'instabilità per le tipologie di sezioni scatolari.

| Sezione trasversale | | Limiti | Inflessione intorno all'asse | Curva di instabilità | | |
|----------------------------------|--|----------------------------|------------------------------|------------------------|----------------|------|
| | | | | S235, S275, S355, S420 | S460 | |
| Sezioni cave | | Sezione formata "a caldo" | qualunque | a | a ₀ | |
| | | Sezione formata "a freddo" | qualunque | c | c | |
| Curva di instabilità | | a ₀ | a | b | c | d |
| Fattore di imperfezione α | | 0,13 | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

$$\lambda = \sqrt{(2287 * 261,90 / 730 * 10^3)} = 0,90$$

$$\Phi = 0,5 [1 + 0,21 (0,90 - 0,20) + 0,90^2] = 0,9785$$

$$\chi = 1 / (0,9785 + \sqrt{(0,9785^2 - 0,90^2)}) = 0,73$$

$$N_{b,Rd} = \chi A f_{yk} / \gamma_{ml} = (0,73 * 2287 * 275) / 1,05 = 437,25 \text{ kN}$$

Aggiungendo al valore N_{ED} il peso proprio del pilastro $0,179 \text{ kN/m} * 12 \text{ m}$:

$$N_{ED} = (45,17 + 2,15) \text{ kN} = 47,32 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 47,32 / 437,25 = 0,11 \leq 1 \quad \text{verificato}$$

15.3. Aspetti ergotecnici

Al fine di prevedere la fattibilità dell'opera di progetto, è stato proposto un approfondimento ergotecnico riguardo la realizzazione delle strutture in elevato delle nuove coperture degli Edifici 2 e 3. Sono stati presi in considerazione i vincoli dell'area, l'accessibilità dei mezzi di trasporto dei materiali edili, la realizzazione a piè d'opera di alcuni componenti costruttivi e la loro elevazione in quota. A questo proposito è stato definito un layout generale di cantiere per il posizionamento dei macchinari e delle aree adibite alle diverse lavorazioni che concorrono alla realizzazione dell'opera.

15.3.1. Vincoli urbani e di accessibilità all'area

L'area di progetto si trova nel quadrante nord-est di Milano. Si tratta di una porzione di città caratterizzata dalla massiccia presenza di reti infrastrutturali su gomma e ferro le quali, sovente, si presentano come un vincolo forte e stringente per l'accessibilità all'area. È plausibile prevedere che i mezzi con provenienza extraurbana raggiungano il cantiere dallo svincolo della tangenziale est, percorrendo via Rombon e sottopassando la stazione di Lambrate. Da questo punto si prevede un tracciato che eviti il più possibile arterie a forte congestione veicolare, come evidenziato nella tavola di sintesi in allegato. Il percorso proposto per i mezzi di cantiere, inoltre, tocca solo tangenzialmente gli isolati che compongono il nucleo centrale di Città Studi, dove nelle fasce orarie 8-10 e 17-19 è preponderante il flusso pedonale, considerato come ulteriore elemento di rallentamento e rischio. Un vincolo viabilistico e acustico è dato dalla vicin



nanza di due strutture ospedaliere: l'Istituto Neurologico e l'Istituto Nazionale dei Tumori. In questi casi è risultato opportuno evitare la promiscuità tra il flusso principale di accesso all'ospedale e il percorso dei mezzi di cantiere. Inoltre si dovrà prevedere un'intensificazione delle opere di pulizia stradale, ad opera dell'azienda municipale o dell'impresa appaltatrice, per abbattere la possibile sedimentazione di polveri sottili sul manto stradale.

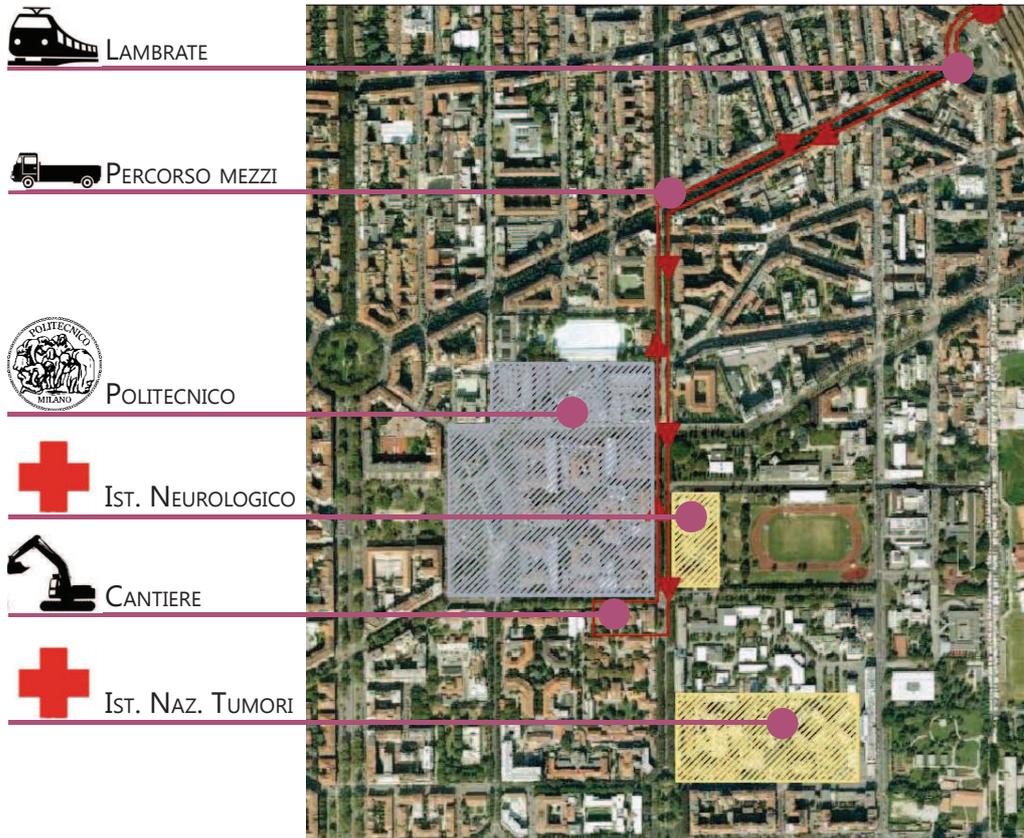


Fig. 15.54. - Vincoli urbani e accessibilità all'area di cantiere.

15.3.2. Vincoli e indicazioni per il layout di cantiere

Nel lotto di progetto si prevede in primis la perimetrazione dell'area di cantiere con recinzione come previsto dal D.lgs. 9 aprile 2008 n. 81, Capo II - Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota - Art. 109:

"Il cantiere, in relazione al tipo di lavori effettuati, deve essere dotato di recinzione avente caratteristiche idonee ad impedire l'accesso agli estranei alle lavorazioni."

Come da programma lavori, sarà chiusa parzialmente Via Celoria durante la demolizione dei due edifici in affaccio su strada, prevedendo l'istituzione di una sola carreggiata a senso unico alternato, gestito da impianto semaforico temporizzato. Come da commi 1-5 Art. 153 e 154:

"Il materiale di demolizione non deve essere gettato dall'alto, ma deve essere trasportato oppure convogliato in appositi canali, il cui estremo inferiore non deve risultare ad altezza maggiore di due metri dal livello del piano di raccolta."

Durante i lavori di demolizione si deve provvedere a ridurre il sollevamento della polvere, irrorando con acqua le murature ed i materiali di risulta."

"Nella zona sottostante la demolizione deve essere vietata la sosta ed il transito, delimitando la zona stessa con appositi sbarramenti"



Si dovrà prendere in considerazione l'abbattimento (o, se possibile, il trasferimento) di quelle alberature non sottoposte a vincolo ambientale che da sopralluogo preliminare si evidenziano come possibile ostacolo per la movimentazione aerea. Sarà da sottoporre a ulteriore verifica la presenza di reti impiantistiche aeree e nel sottosuolo con richiesta di documentazione specifica agli enti gestori¹³.

Si individueranno le aree necessarie alle lavorazioni da effettuare in cantiere: queste dovranno essere esterne al raggio di movimentazione della gru, per evitare il pericolo di caduta di oggetti dall'alto, qualora ciò non si renda possibile in ottemperanza all'Art. 118 del D.lgs. 9 aprile 2008 n. 81:

"Quando nelle immediate vicinanze dei ponteggi o del posto di caricamento e sollevamento dei materiali vengono impastati calcestruzzi e malte o eseguite altre operazioni a carattere continuativo il posto di lavoro deve essere protetto da un solido impalcato sovrastante, contro la caduta di materiali."

Dimensionamento e localizzazione dell'area di stoccaggio dei materiali; vista la forte presenza di aree di scavo si dovrà porre particolare attenzione a riguardo come indicato all'Art. 120

"E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature."

Per il posizionamento delle due gru¹⁴ si dovrà evitare quanto più possibile l'interferenza tra i raggi di azione delle stesse, garantendo al contempo la fornitura in quota del materiale alla porzione più ampia possibile di edificio. Per la

Fig. 15.55. - Raggio di azione delle gru.



scelta del modello di macchinario saranno determinanti le luci da coprire e i carichi massimi da movimentare.

Nel caso in esame le gru presentano le seguenti caratteristiche:

- braccio 25 m
- carico in punta 800 Kg
- carico massimo 2200 Kg
- altezza nominale 22 m

15.3.3. Il processo realizzativo

Sulla base degli interventi di recupero previsti per gli edifici di progetto, si è approntata una programmazione operativa di massima, con l'obiettivo di stabilire le precedenze delle varie fasi realizzative da eseguirsi in cantiere.

Fase 1 - Consolidamento delle murature portanti per adeguamento prestazionale.

- 1) rimozione dell'intonaco esistente al fine di eliminare lo strato di finitura interno delle murature portanti al P-1,
- 2) rimozione della fila di pignatte voltate vicine ai muri portanti e rimozione puntuale in corrispondenza dei punti ove si prevede l'inserimento dei plinti prefabbricati della struttura ex-novo in acciaio,
- 3) stesura lungo la muratura di una rete elettrosaldata con opportune sovrapposizioni e successivo getto a spruzzo, con apposito macchinario, di uno strato

¹³ Enti di gestione delle reti elettriche, del gas e idrico/fognarie.

¹⁴ Poste rispettivamente di fronte agli edifici 2 e 3 (si faccia riferimento alla fig. 15.55).



di 3-4 cm di intonaco con caratteristiche come da progetto (per maggiore dettaglio sulle fasi realizzative si faccia riferimento al Capo 15.1.1.).

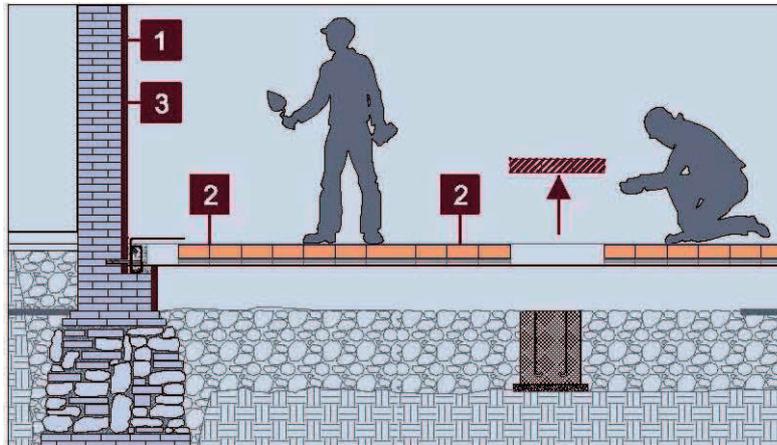


Fig. 15.56. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 1.

Fase 2 - Consolidamento del solaio di impalcato esistente e inserimento delle strutture di elevazione in acciaio.

- 1) posa in opera dei plinti prefabbricati, successivo inserimento pilastri in acciaio e imbullonatura della piastra di ancoraggio alla struttura di fondazione;
- 2) cassetatura, posa della gabbie di armatura, realizzate a piè d'opera, e successivo getto di cordoli di rinforzo perimetrali agli impalcati, le pignatte rimosse precedentemente saranno sostituite se ammalorate con nuovi elementi in laterizio di analoga dimensione;
- 3) consolidamento del solaio con metodo tipo "Tecnaria", metodologia che prevede l'inserimento di connettori metallici in corrispondenza dei travetti e successivo getto di cappa collaborante in cls avente la funzione di aumentare la rigidità complessiva dell'impalcato (per descrizione dettagliata si faccia riferimento al Capo 15.1.2.);
- 4) trascorso il tempo necessario alla maturazione del getto (28 gg.), puntellamento dell'impalcato sovrastante e successivo consolidamento come da fasi 1-2 appena descritte.

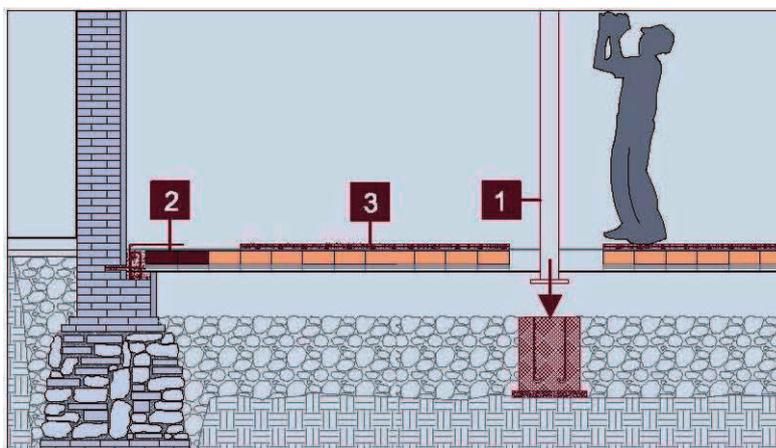


Fig. 15.57. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 2.

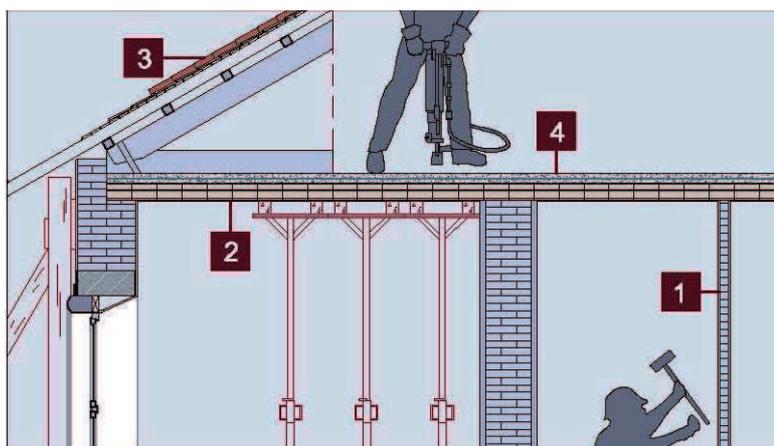
Fase 3 - Rimozione della struttura di copertura esistente.

- 1) demolizione dei tramezzi interni esistenti; il materiale di scarto dovrà essere convogliato a terra tramite tubi rigidi e trasportato, una volta a terra, fuori dall'area di cantiere come previsto all'Art 153 D.lgs. n° 81/2008;



- 2) puntellamento del solaio esistente e dei muri portanti per evitare fenomeni di apertura verso l'esterno al momento della rimozione dell'impalcato di sottotetto: questo, infatti, allo stato attuale, funge da catena nei confronti delle azioni spingenti scaricate dalle capriate di copertura;
- 3) rimozione successiva dei vari strati componenti il manto di copertura: gli operatori dovranno essere dotati di specifici presidi di ritenuta (cinture o altre imbragature) per impedirne l'eventuale caduta o scivolamento durante tali operazioni con riferimento all'Art 115 D.lgs. n° 81/2008, a conclusione smontaggio capriate lignee e loro movimentazione a terra tramite gru;
- 4) demolizione del solaio al piano sottotetto con martello pneumatico e smaltimento delle macerie come da indicazioni date in precedenza.

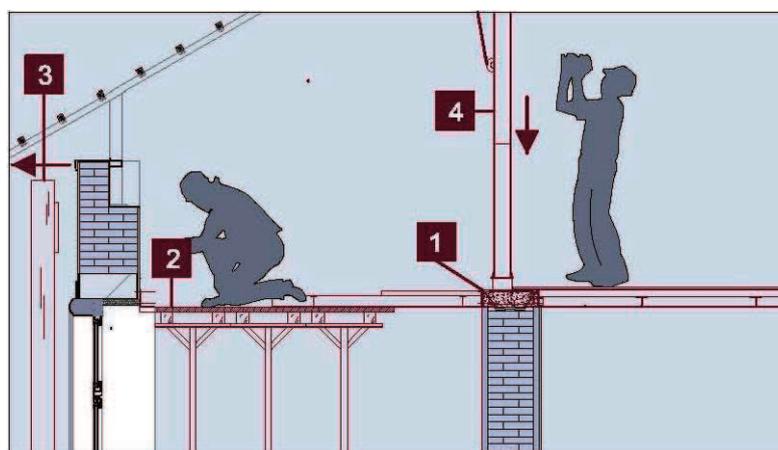
Fig. 15.58. -
Schematizzazione
del processo di
realizzazione della
Fase 3.



Fase 4 - Realizzazione dei nuovi solai con struttura in acciaio e posa in opera dei portali di copertura.

- 1) realizzazione dei cordoli in c.a. seguendo un processo analogo a quanto già visto al Piano -1;
- 2) imbullonatura dei profili a L lungo la muratura per l'ancoraggio dei travetti così da evitare scassi nella stessa, posa della lamiera grecata e dello strato di finitura;
- 3) smontaggio dei puntelli della muratura esterna;
- 4) messa in opera dei moduli di copertura tramite gru, loro ancoraggio ai cordoli tramite imbullonatura e realizzazione del pacchetto di chiusura (per maggiore dettaglio sulle fasi realizzative si faccia riferimento al paragrafo successivo).

Fig. 15.59. -
Schematizzazione
del processo di
realizzazione della
Fase 4.





15.3.4. Approvvigionamento, montaggio e posa della copertura

L'elemento di maggiore interesse per una specifica analisi ergotecnica è la porzione di copertura ex-novo con struttura portante a portali in acciaio. Trattandosi di un elemento da realizzarsi totalmente a secco, la possibilità di prefabbricazione totale o parziale con eventuale montaggio a piè d'opera costituisce un sistema di parametri molto influente nell'ottica della riduzione della durata complessiva dei lavori.

Le fasi di lavorazione per la realizzazione della copertura sono quattro:

1) Approvvigionamento

- a) Trasporto all'area di cantiere con autocarro fino a 18 t: la scelta del mezzo viene fatta sulle base della sua compatibilità dimensionale con la viabilità e di portata con gli elementi oggetto di fornitura. Si è considerato non agevole per il trasporto dei portali il loro premontaggio totale in fabbrica, anche per la presenza di vincoli lungo il percorso, come il sottopasso presente nei pressi della stazione di Lambrate, punto di passaggio obbligato per i mezzi in uscita dalla tangenziale est. A ciò si aggiunge che il carico supererebbe in altezza la sagoma del veicolo, trasformandolo in trasporto eccezionale sulla base di quanto previsto dal codice della strada. Per questo motivo si prevede la saldatura in fabbrica di due semi-portali, che verranno incernierati tramite imbullonatura a piè d'opera.
- b) Dal computo metrico per risorse, si prevede che tutto il materiale possa essere trasportato in un unico viaggio e stoccato in cantiere.
- c) Imballaggio separato per tipologie e pezzatura dei profili per velocizzare le fasi successive di montaggio.
- d) Scarico e movimentazione all'area di stoccaggio tramite gru.

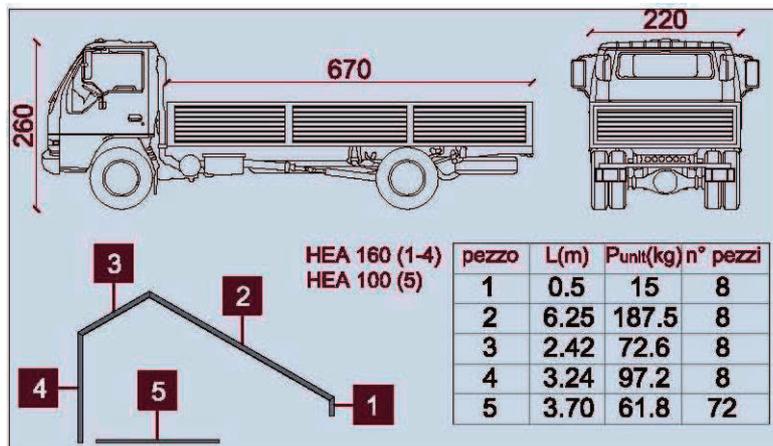


Fig. 15.60. - Dati significativi per le scelte della modalità di approvvigionamento in cantiere.

2) Montaggio a piè d'opera 1

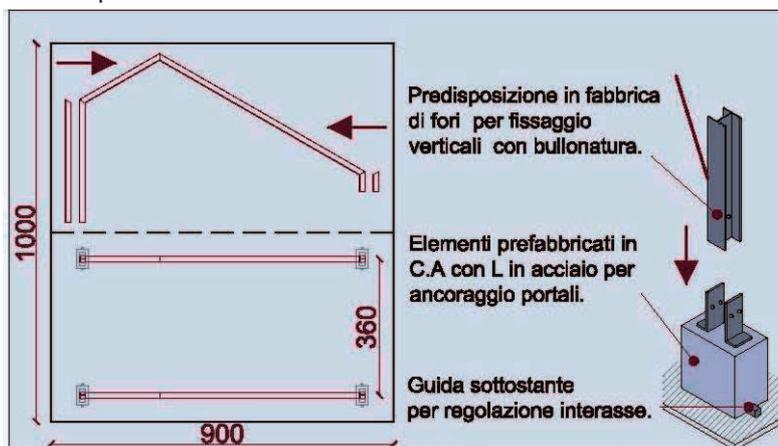
- a) Individuazione all'interno del cantiere di una specifica area riservata al montaggio: essa dovrà presentare dimensioni in pianta congruenti, piano livellato e opportunamente drenato. L'area di montaggio, nel caso specifico, non potrà essere coperta con tettoia e dovrà trovarsi all'interno del raggio di azione della gru per il successivo sollevamento dei moduli. Si prevede quindi l'interruzione della movimentazione aerea legata ad altre lavorazioni durante il montaggio, al fine di evitare il pericolo di caduta di oggetti dall'alto.
- b) Montaggio e saldatura dei profili sul piano orizzontale, con rispetto delle tolleranze massime previste dal progettista.



c) Ancoraggio in almeno due punti del portale e posizionamento in verticale con gru.

d) Fissaggio temporaneo in dima per il successivo completamento del modulo. Progettazione specifica dell'elemento di ancoraggio dei portali: realizzazione di un elemento prefabbricato in c.a. posto su binario per la regolazione degli interassi tra i portali con sistema di bloccaggio integrato. Posizionamento di profili in acciaio ad L soprastanti con funzione di fodera.

Fig. 15.61. - Dati significativi per le scelte della modalità di montaggio a piè d'opera.



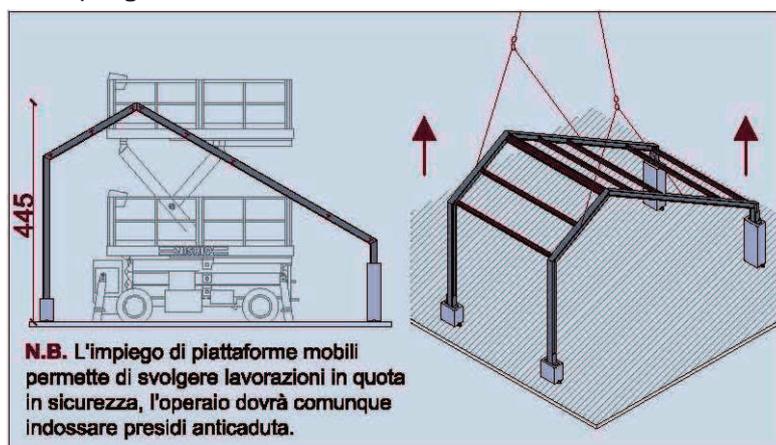
3) Montaggio a piè d'opera 2

a) Sollevamento delle travi secondarie, avvalendosi di mezzo meccanico con ancoraggio in due punti speculari rispetto al baricentro del profilo per bilanciamento del carico.

b) I lavoratori preposti al montaggio opereranno il fissaggio e la saldatura dei profili secondari da piattaforma mobile con ancoraggio alla stessa tramite dispositivi anticaduta, trattandosi di lavorazione eseguita a quota superiore a 1,50 m da terra¹⁵.

c) Ancoraggio con funi, messa in tiro e svincolo dagli elementi di fissaggio a terra; sollevamento graduale lungo la verticale del singolo modulo per evitare l'instaurarsi dell'effetto pendolo. Una movimentazione graduale è consigliabile anche per escludere deformazioni non previste in una struttura semi-rigida come quella in progetto.

Fig. 15.62. - Completamento dell'elemento modulare a piè d'opera e sua movimentazione.



4) Montaggio in copertura

a) Fissaggio con bullonatura ai cordoli in c.a. realizzati precedentemente sulla muratura portante: il portale potrà essere sganciato dal sistema di funi di sollevamento solo ad operazione conclusa, verificando il rispetto delle tolleranze di

¹⁵ Si faccia riferimento all'Art 111 D.lgs. n° 81/2008.



verticalità previste;

b) Realizzazione di un ponteggio interno ed esterno del tipo a "tubi e giunti" o a telaio prefabbricato per successive lavorazioni. Il solaio sottostante dovrà essere in precedenza opportunamente puntellato¹⁶;

c) Movimentazione e fissaggio delle travi secondarie di collegamento tra moduli prefabbricati, posa dei profili di ancoraggio e della lamiera grecata. Realizzazione degli strati di finitura come da dettaglio tecnologico allegato nelle tavole esecutive di cantiere. I materiali disposti su pallet verranno depositati sul castello di carico: il piano di impalcato dello stesso dovrà essere progettato sulla base del sovraccarico massimo di esercizio previsto.

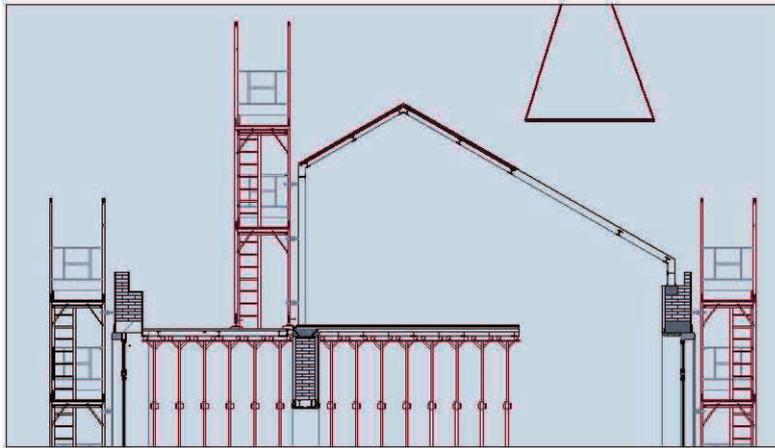


Fig. 15.63. - Opere provvisorie per le fasi di montaggio in copertura.

15.4 La logica strutturale dello spazio ipogeo

Lo spazio ipogeo, da realizzarsi ex novo a quota -4.00 m rispetto al piano campagna, ospita i servizi collettivi per la residenza e uno spazio mensa accessibile anche all'utenza esterna. Esso occupa l'area delimitata planimetricamente, per la quasi totalità del suo perimetro, dalla presenza degli edifici 2-3-4-5. La struttura di elevazione perimetrale per i tratti ex novo, a diretto contatto con il terreno, è costituita da muri a paratia in c.a. Essi hanno il compito di assorbire la spinta laterale del terreno e dovranno quindi essere dimensionati a ribaltamento e scivolamento.

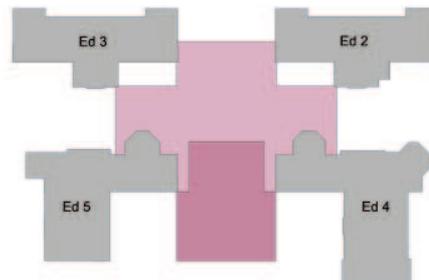
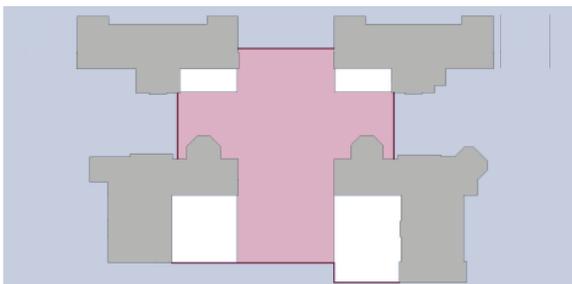


Fig. 15.64. - A sinistra: Muri perimetrali a paratia.

Fig. 15.65. - A destra: Spazio ipogeo ex-novo.

Preliminarmente viene realizzato lo scavo, con apposito mezzo meccanico, corrispondente al tracciato dei muri controterra; consequenzialmente si inseriscono gli elementi a parete in c.a. prefabbricato e, solo al completamento di queste fasi, si potrà operare la rimozione del terreno nell'area interna senza rischio di smottamento del fronte di scavo.

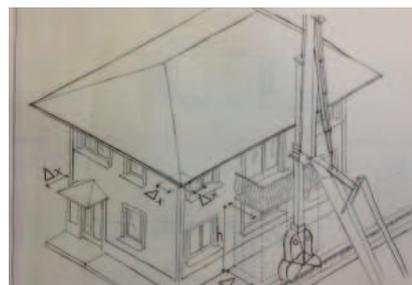


Fig. 15.66. - Realizzazione paratia con mezzo meccanico.

¹⁶ Per le specifiche caratteristiche dei ponteggi si faccia riferimento agli articoli presenti nella Sezione V *Ponteggi Fissi* del D.lgs. n° 81/2008.



Fig. 15.67. - A sinistra: iniezioni di resine biocomponenti.

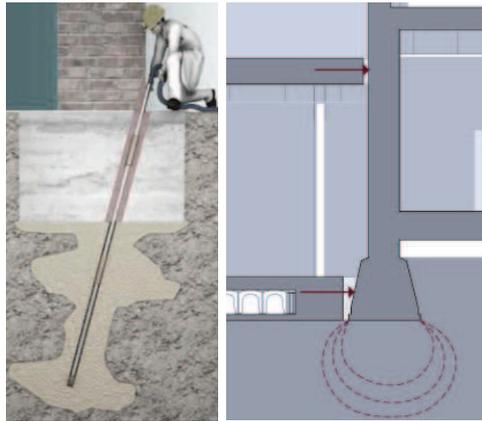
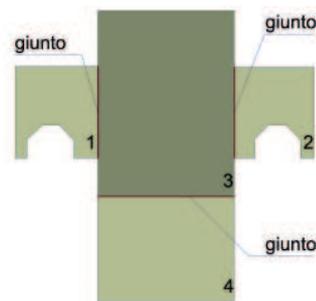


Fig. 15.68. - A destra: particolare dell'accostamento tra le fondazioni della struttura ex-novo e quelle dell'edificio esistente.

Lo scavo, non scendendo oltre il piano di posa delle fondazioni del costruito esistente, non rende necessarie opere di sottomurazione. A scopo cautelativo, si effettuano iniezioni di resine biocomponenti nelle aree corrispondenti al bulbo di scarico delle fondazioni preesistenti per evitare possibili cedimenti innescati dalla differenza di peso tra il terreno laterale rimosso e le nuove strutture. Il distacco tramite giunto tra le due tipologie di strutture è un ulteriore elemento cautelativo - previsto in fase di progettazione - per evitare problemi di interazione nel caso di sisma. Gli impalcati dello spazio ipogeo, con piano di posa differenti rispetto a quelli dell'interrato degli edifici 2-3, potrebbero infatti operare un'ulteriore azione anomala di martellamento come schematizzato dalle frecce.

Fig. 15.69. - Schematizzazione della suddivisione strutturale tramite giunti di dilatazione.

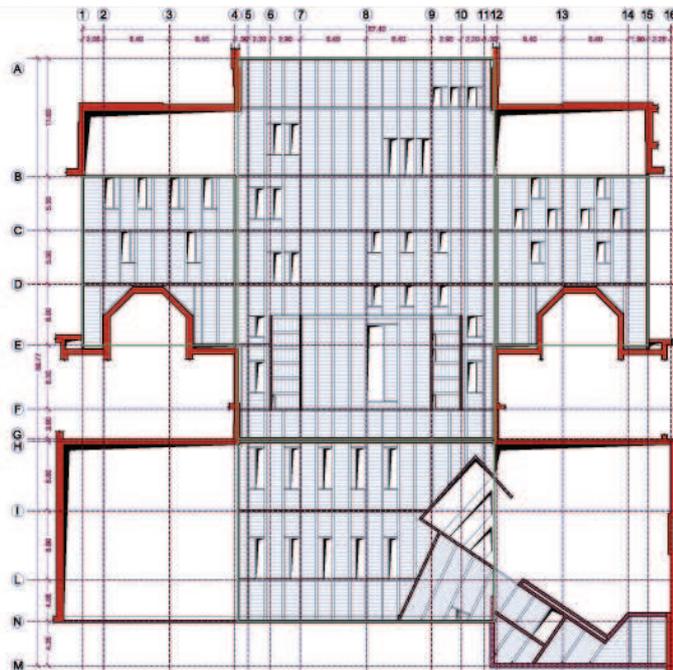


All'interno del volume ex-novo sono previsti 3 giunti strutturali (con conseguente raddoppio della struttura verticale) che permettono la dilatazione delle singole parti senza la formazione di fenomeni fessurativi dannosi. I pilastri sono in acciaio profilo HEB 220 alti 3,50m disposti secondo schema a maglia rettangolare. Le travi principali, che corrono in senso est-ovest, hanno profilo HEB 280; ad esse si imbullonano trasversalmente, sull'anima, le travi secondarie HEA

240. La lamiera grecata HI-BOND A 55 P 600 completa l'impalcato ed è posata in appoggio sopra le strutture appena descritte.

Gli elementi verticali sono ancorati, tramite tirafondi, alle travi rovesce di fondazione in c.a. Esse saranno realizzate in opera sopra uno strato di livellamento in magrone non armato. Tra una trave e l'altra si pongono i casseri a perdere modello iglù di altezza 0,50 m che permettono la realizzazione del solaio areato. Lo schema strutturale complessivo è illustrato nella figura sotto riportata.

Fig. 15.70. - Schema strutturale complessivo dello spazio ipogeo.





15.4.1. Predimensionamento degli elementi strutturali

Per il predimensionamento delle travi che costituiscono la struttura dello spazio ipogeo si è proceduto con la verifica a deformazione, parametro di primaria importanza per quanto riguarda il materiale acciaio.

Si ipotizza l'utilizzo della medesima lamiera grecata HI-Bond A55 P.600. e un carico gravante sulla struttura pari a 8 kN/m² valutando:

- carichi variabili (Q) = 5 kN/m²
- carichi permanenti (G) = 3 kN/m²

| Cat. | Ambienti | Q _k [kN/m ²] | Q _k [kN] | H _k [kN/m] |
|------|---|--|------------------------|--------------------------|
| A | Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi, (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento) | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| B | Uffici. | | | |
| | Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico | 2,00 3,00 | 2,00 2,00 | 1,00 1,00 |
| C | Ambienti suscettibili di affollamento | | | |
| | Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole | 3,00 | 2,00 | 1,00 |
| | Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi | 4,00 | 4,00 | 2,00 |
| | Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune | 5,00 | 5,00 | 3,00 |
| D | Ambienti ad uso commerciale. | | | |
| | Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie,... | 4,00 5,00 | 4,00 5,00 | 2,00 2,00 |

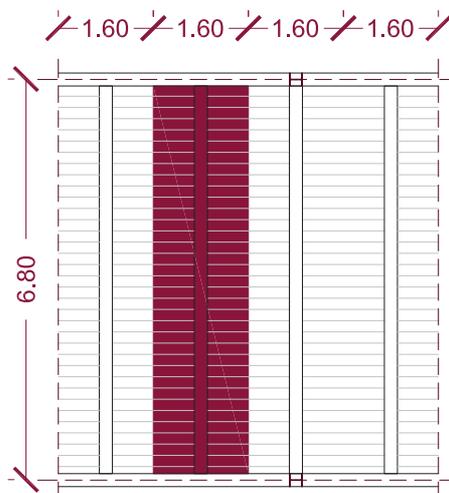
Tab. 15.22. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse destinazioni d'uso.

| 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 | $\frac{1}{250}$ | $\frac{1}{300}$ |

Tab. 15.23. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Trave secondaria _ ipogeo

Carico applicato → (Q+G)*i = 8 kN/m² * 1,60 m = 12,8 kN/m



Una trave appoggio-appoggio uniformemente caricata presenta freccia massima in mezzzeria e si ricava mediante la seguente formula:

$$F_{max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a 1/250 della luce:

$$L/250 = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

$$J = 1250/384 * (qL^3 / E)$$

Il valore di J così calcolato è pari a 6238,73 cm⁴. Si è scelto il profilo da prontuario HEA 240 (h = 230 mm):

Essendo l'inerzia della HEA 240, pari a 7763 cm⁴, superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta **verificato**.

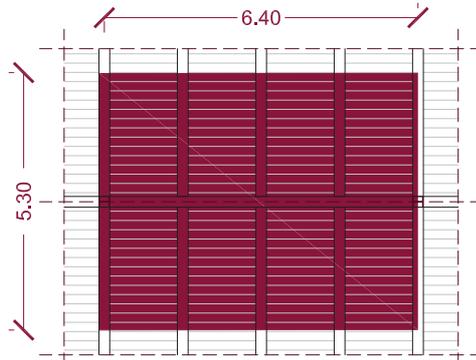
Fig. 15.71. - Pianta strutturale: trave secondaria maggiormente sollecitata (ipogeo).



Trave principale _ ipogeo

Carico applicato $\rightarrow (Q+G)*i = 8 \text{ kN/m}^2 * 5,30 \text{ m} = 42,4 \text{ kN/m}$

Fig. 15.72. - Pianta strutturale: trave principale maggiormente sollecitata (ipogeo).



Si calcolerà la freccia massima in mezzeria ricavata mediante la seguente formula:

$$F_{\max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a 1/250 della luce:

$$L/250 = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

$$J = 1250/384 * (qL^3 / E)$$

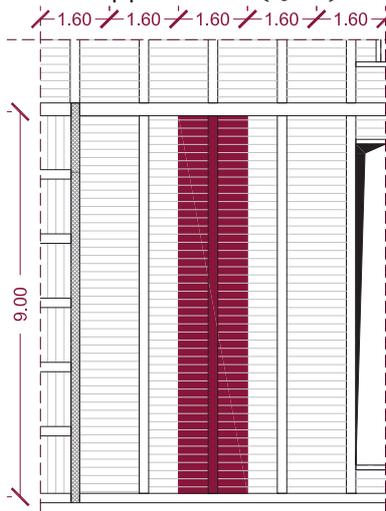
Il valore di J così calcolato è pari a 17229,21 cm⁴. Si è scelto il profilo da prontuario **HEB 280** (h = 280 mm):

Essendo l'inerzia della HEB 280, pari a 19270 cm⁴, superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta **verificato**.

Trave secondaria _ bar

Carico applicato $\rightarrow (Q+G)*i = 8 \text{ kN/m}^2 * 1,60 \text{ m} = 12,8 \text{ kN/m}$

Fig. 15.73. - Pianta strutturale: trave secondaria maggiormente sollecitata (bar).



Si calcolerà la freccia massima in mezzeria ricavata mediante la seguente formula:

$$F_{\max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a 1/250 della luce:

$$L/250 = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

$$J = 1250/384 * (qL^3 / E)$$

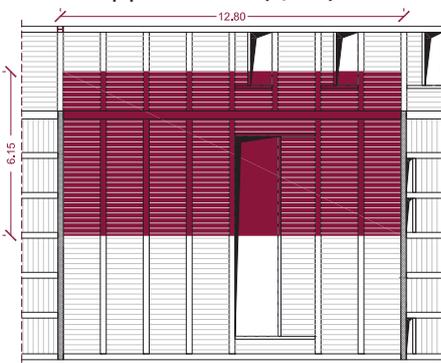
Il valore di J così calcolato è pari a 14464,43 cm⁴. Si è scelto il profilo da prontuario **HEA 300** (h = 290 mm):

Essendo l'inerzia della **HEA 300**, pari a 18260 cm⁴, superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta **verificato**.

Trave principale _ bar

Carico applicato $\rightarrow (Q+G)*i = 8 \text{ kN/m}^2 * 6,15 \text{ m} = 49,2 \text{ kN/m}$

Fig. 15.74. - Pianta strutturale: trave principale maggiormente sollecitata (bar).



Si calcolerà la freccia massima in mezzeria ricavata mediante la seguente formula:

$$F_{\max} = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

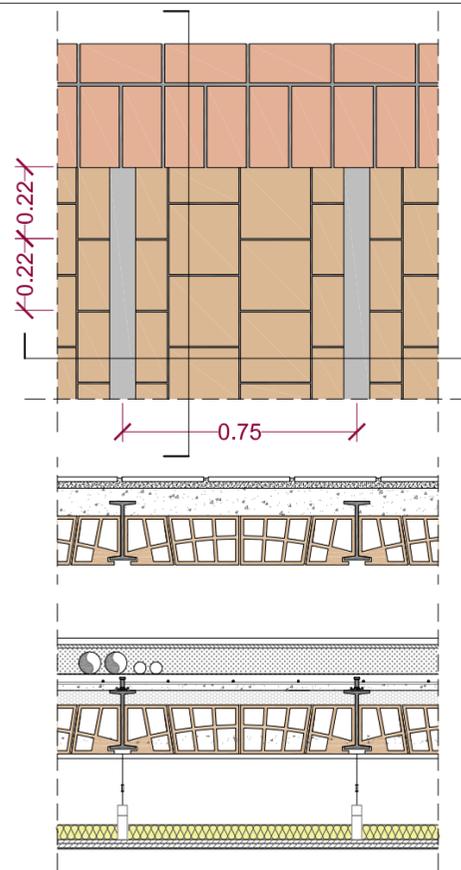
Si dovrà ricavare l'inerzia J per dimensionare la trave ponendo la freccia pari a 1/250 della luce:

$$L/250 = 5/384 * (qL^4 / EJ)$$

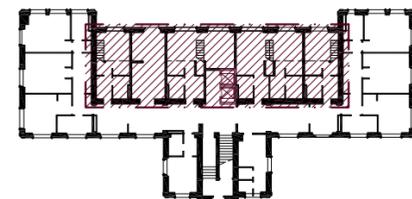
$$J = 1250/384 * (qL^3 / E)$$

Il valore di J così calcolato è pari a 159939,05 cm⁴. Si è scelto il profilo **HEA 650** (h = 640 mm):

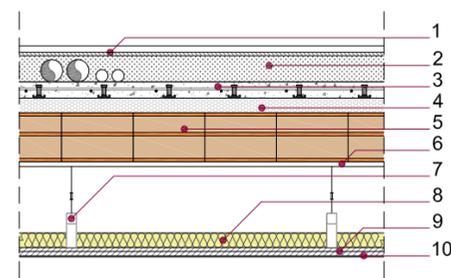
Essendo l'inerzia della HEA 650, pari a 175200 cm⁴, superiore all'inerzia minima imposta dal calcolo della freccia, il profilo risulta **verificato**.



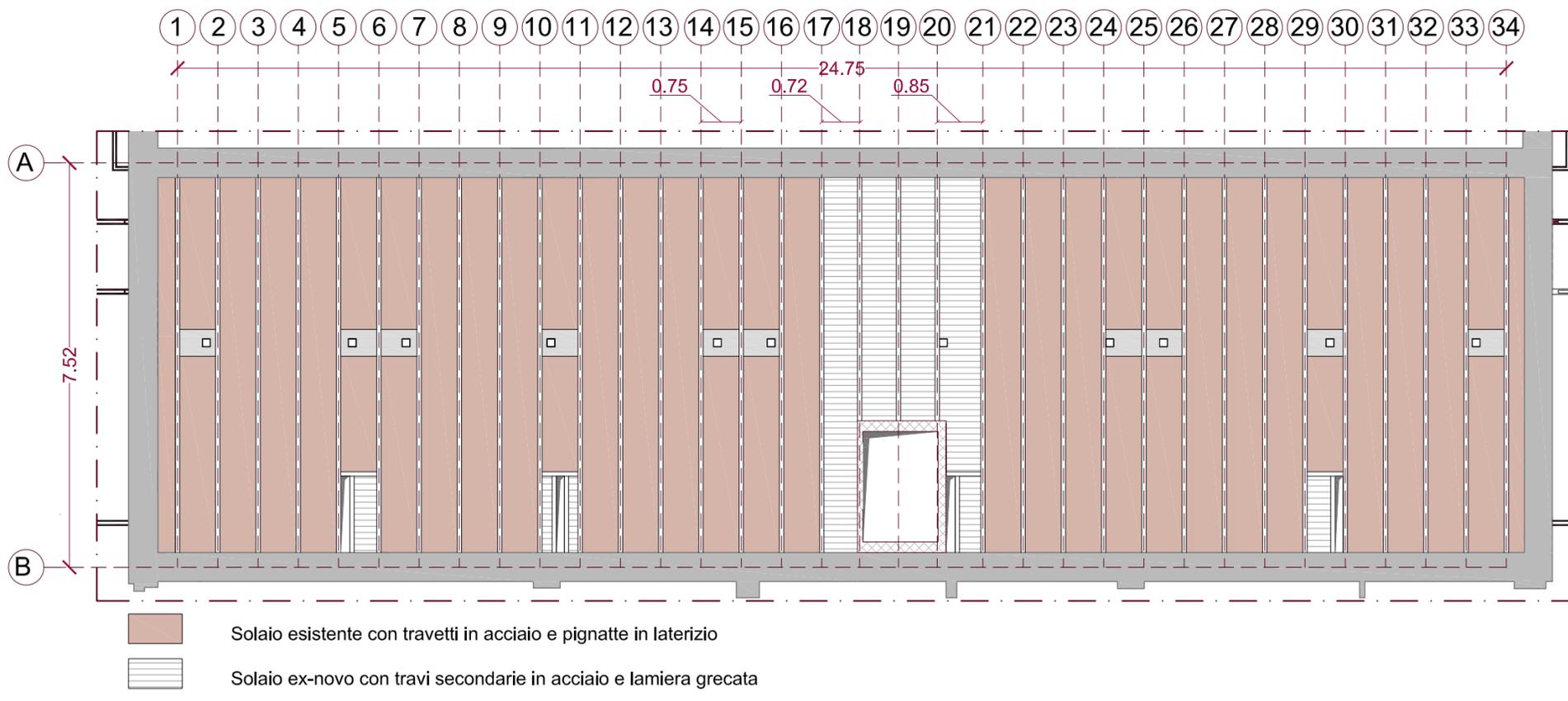
Pianta Strutturale Piano Terra



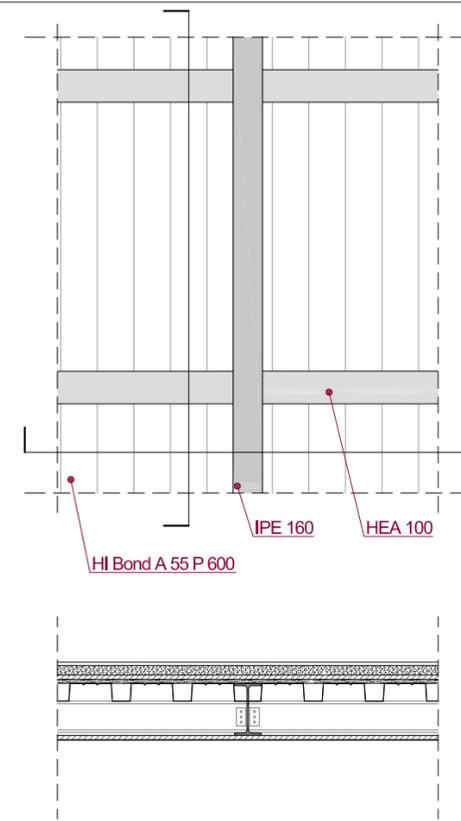
1. Pavimento in linoleum + collante, sp. 3,00 cm
2. Massetto per impianti in argilla espansa, sp. 6 cm
3. Getto in cls + rete elettrosald. e connettori Tecnaria, sp. 5 cm
4. Riempimento in polistirene, sp. 4,50 cm
5. Pignatte in laterizio, sp. 22x22 cm
6. Intonaco in malta di calce, sp. 1,50 cm
7. Gancio con smorzatore
8. Sottostrutt. metallica + isolante in lana minerale sp. 4,50 cm
9. Doppia lastra in cartongesso sp. tot 2,50 cm
10. Tinteggiatura



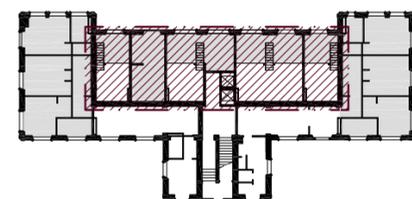
PO.01/p



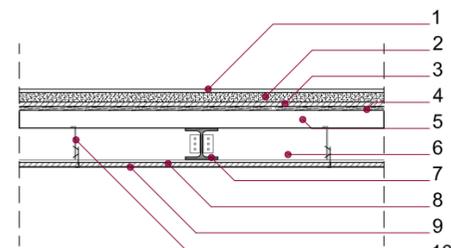
- Solaio esistente con travetti in acciaio e pignatte in laterizio
- Solaio ex-novo con travi secondarie in acciaio e lamiera grecata



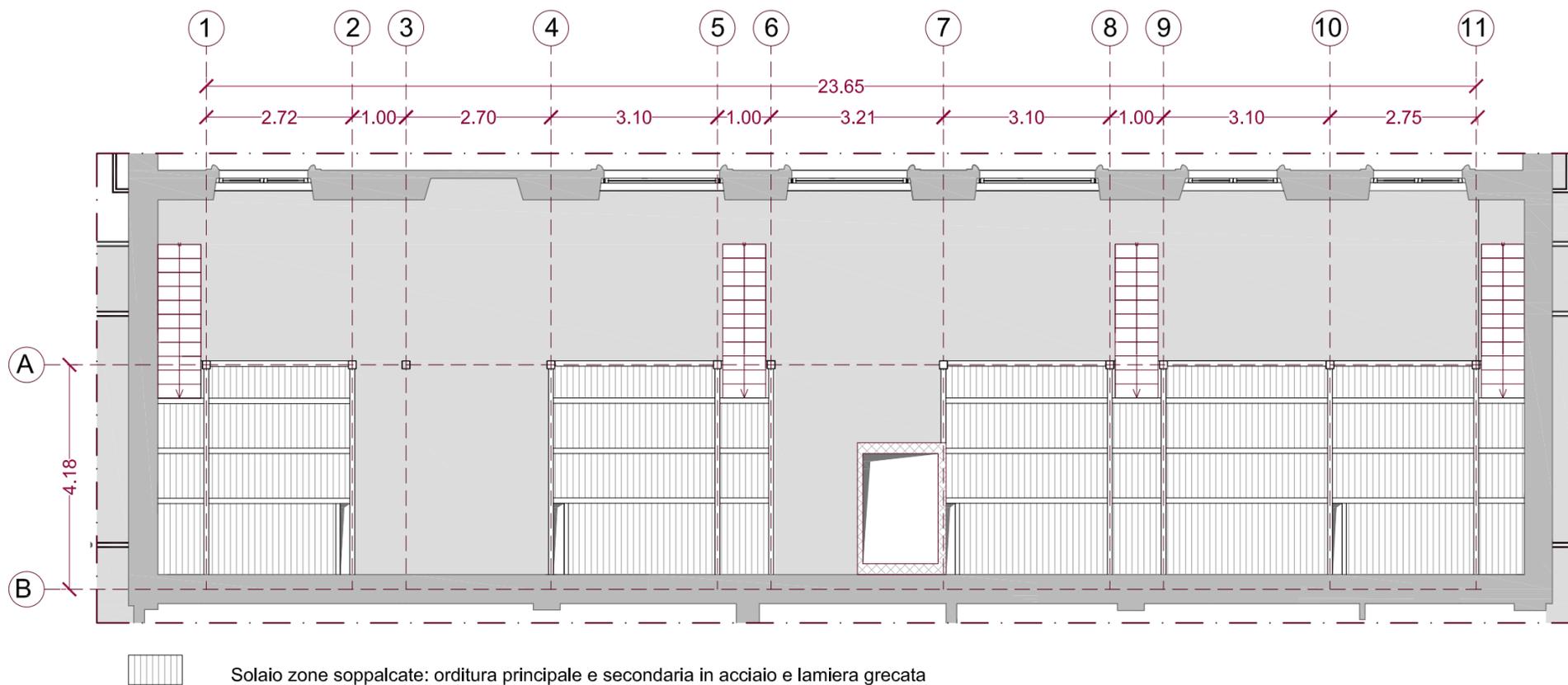
Pianta Strutturale Soppalco PT



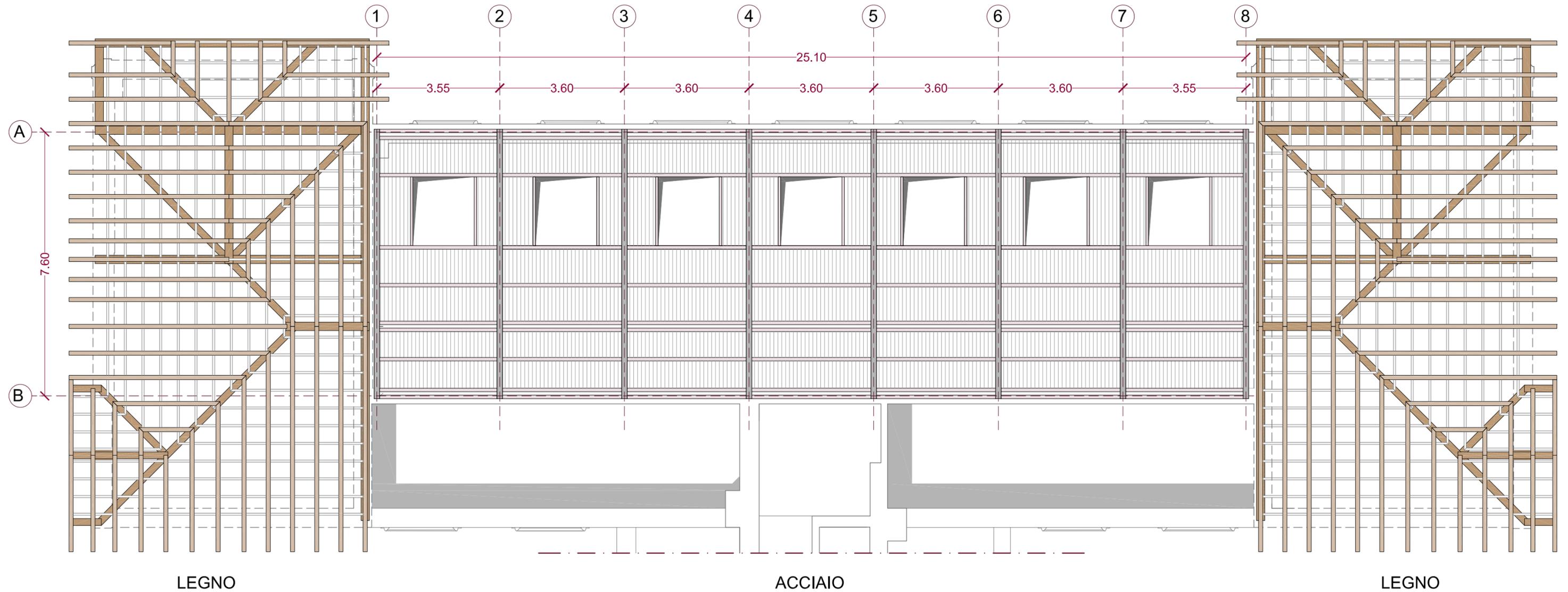
1. Pavimento in resina, sp. 1 cm
2. Massetto di sottofondo alleggerito, sp. 3,00 cm
3. Lastra in cartongesso, sp. 1,25 cm
4. Lastra triply: lastra in legno ricomposto, sp. 1,25 cm
5. Lamiera grecata HI-BOND tipo A 55 P 600
6. Struttura portante: trave principale HEA 160
7. Struttura portante: trave secondaria IPE 100
8. Placcaggio in cartongesso, sp. 1,25
9. Tinteggiatura
10. Struttura di supporto in acciaio zincato per controsoffitto agganciata alla lamiera tramite pendini e ganci a molla



PO.02



- Solaio zone soppalcate: orditura principale e secondaria in acciaio e lamiera grecata



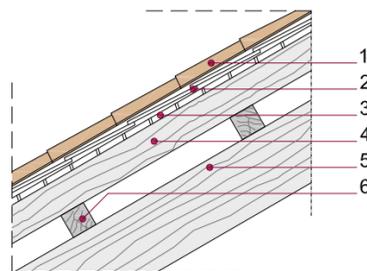
LEGNO

ACCIAIO

LEGNO

CO.03/e

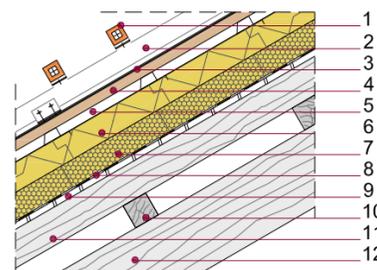
LEGENDA



1. Tegole marsigliesi
2. Listelli sottomanto
3. Assito in legno, sp. 2 cm
4. Travetto in legno, sp. 10 cm
5. Puntone di sostegno in legno, sp. 22 cm
6. Arcareccio in legno, sp. 8 cm

CO.03/p

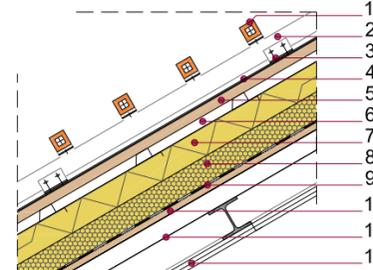
LEGENDA



1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5x5,3x28 cm
2. Sottostruttura metallica, sp. 7,50 cm
3. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm
4. Assito in legno, sp. 3 cm
5. Intercapedine d'aria, sp. 3 cm
6. Pannelli tipo ISOTEC XL con profilo metallico integrato, sp. 8 cm
7. Isolante termoacustico in lana di legno tipo Celenit, sp. 7,50 cm
8. Guaina bituminosa, sp. 0,4 cm
9. Assito in legno, sp. 2,00 cm
10. Arcareccio in legno, sp. 8,00 cm
11. Travetto in legno, sp. 10,00 cm
12. Puntone in legno, sp. 22,00 cm

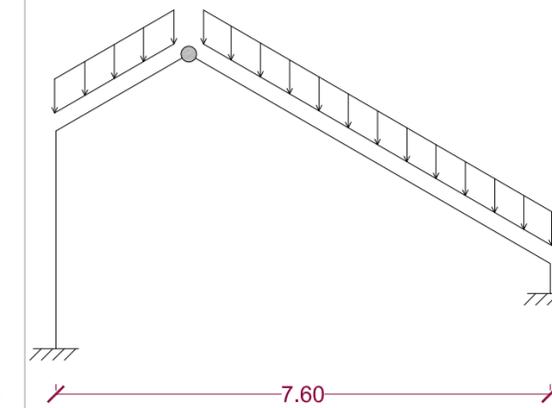
CO.02

LEGENDA



1. Elementi in cotto tipo Autan Terreal, dim. 5x5,3x28 cm
2. Sottostruttura metallica sp. 7,50 cm
3. Elemento di sostegno a L
4. Lastra di rame Tecu, sp. 0,54 cm
5. Assito in legno, sp. 3,00 cm
6. Intercapedine ventilata, sp. 3,00 cm
7. Pannelli tipo ISOTEC XL, sp. 8,00 cm
8. Pannello isolante termoacustico in lana di legno Celenit, sp. 7,50 cm
9. Guaina bituminosa (freno vapore), sp. 0,40 cm
10. Assito in legno, sp. 2,00 cm
11. Struttura portante in acciaio
12. Placcaggio in cartongesso, sp. 2,50 cm

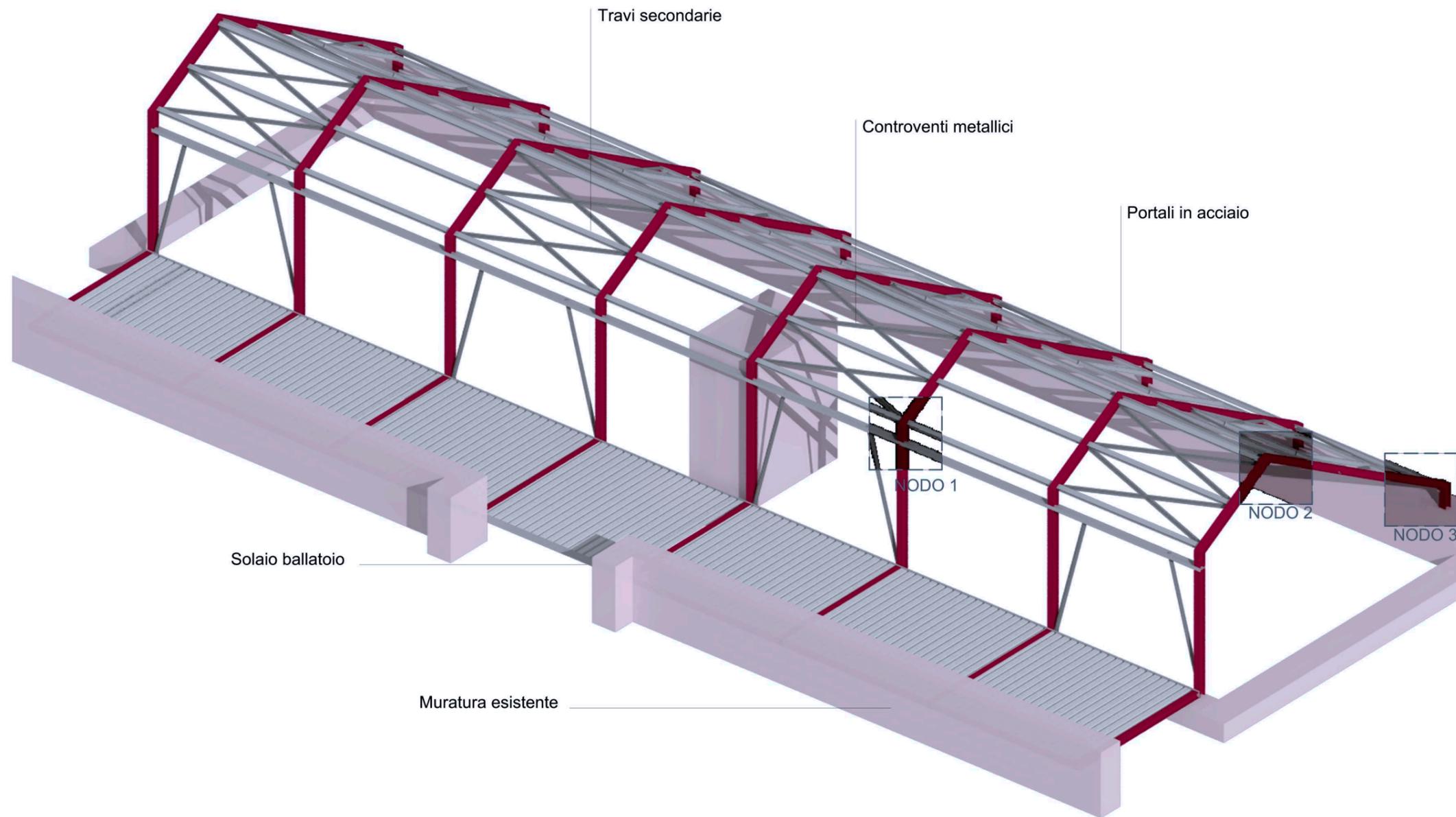
Schema statico portali



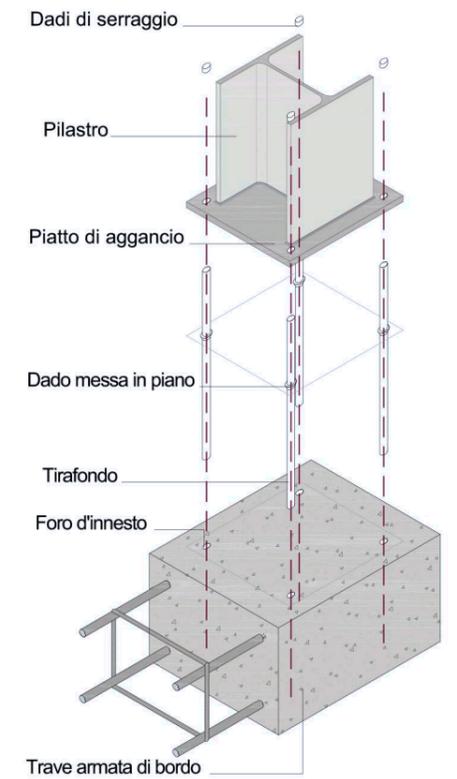
Stratigrafie LEGNO

Stratigrafie ACCIAIO

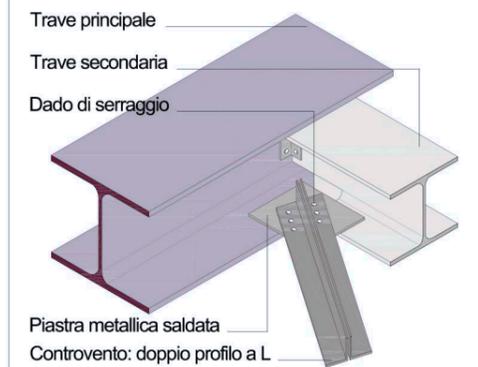




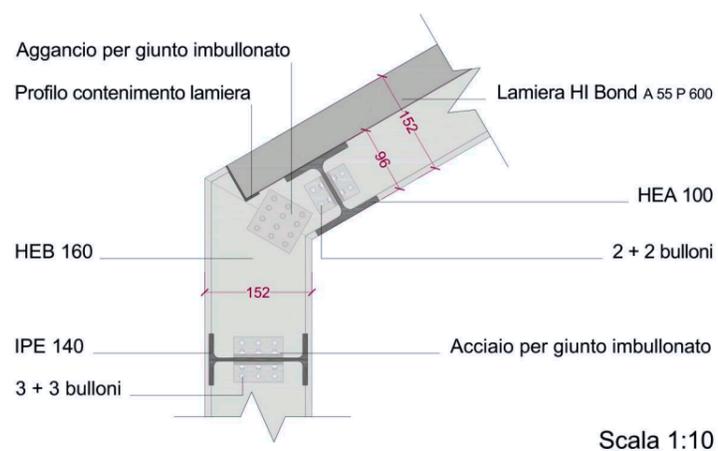
Aggancio alla trave di bordo



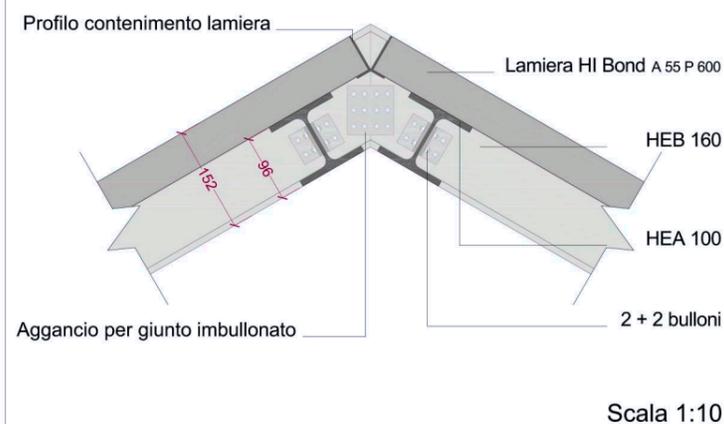
Particolare: nodo controventi



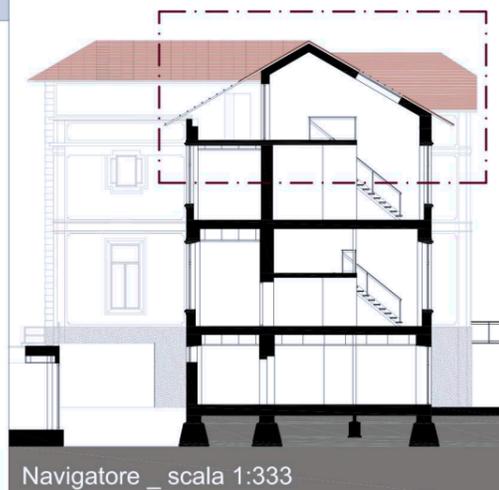
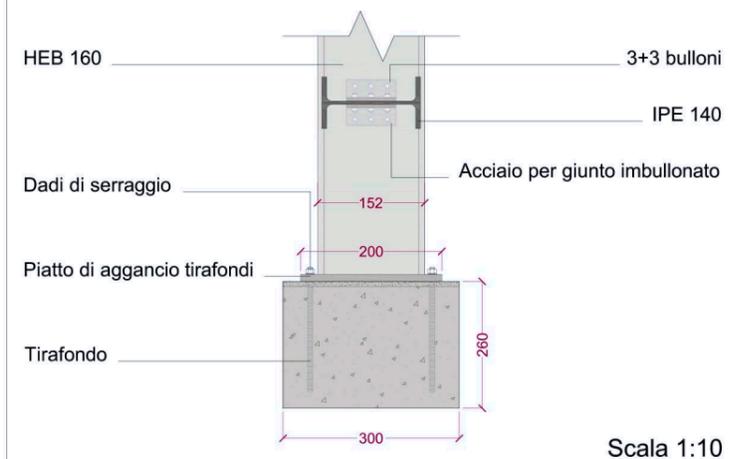
NODO 1 _ angolo portale (cerniera)



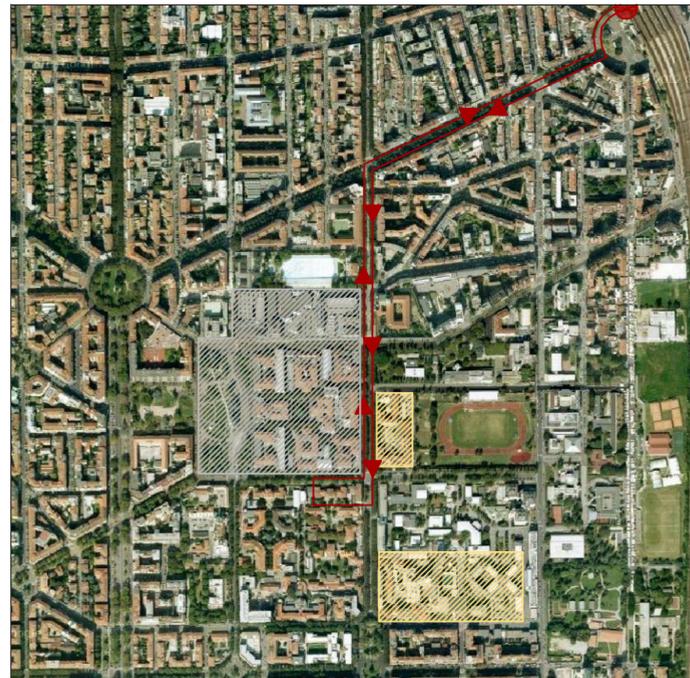
NODO 2 _ colmo portale (cerniera)



NODO 3 _ appoggio dei portali



Vincoli urbani e di accessibilità all'area



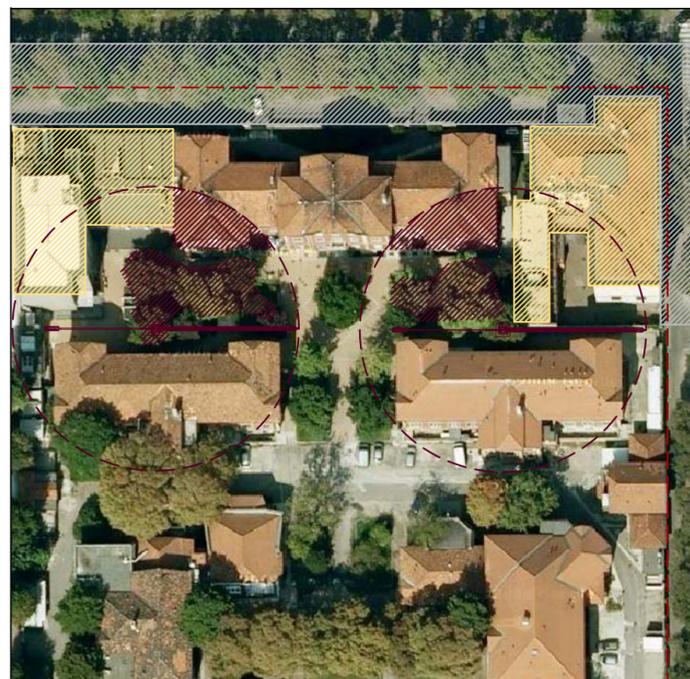
Legenda

- percorso mezzi pesanti da e per il cantiere
- complesso ospedaliero
- nucleo principale Politecnico

I mezzi di cantiere provenienti dall'interland, una volta usciti dalla tangenziale est all'altezza della stazione ferroviaria di Lambrate, seguiranno il percorso indicato per evitare per quanto possibile arterie a forte congestione veicolare. Inoltre il tracciato proposto tocca solo tangenzialmente gli isolati che compongono il nucleo centrale di Città Studi dove nelle fasce orarie 8-10 e 17-19 è preponderante il flusso pedonale, considerato come ulteriore elemento di rallentamento e rischio. Vincolo viabilistico e acustico è dato dalla vicinanza di due strutture ospedaliere.

1. sottopasso stazione Lambrate
2. Istituto Neurologico
3. Istituto Nazionale dei Tumori

Vincoli di cantiere



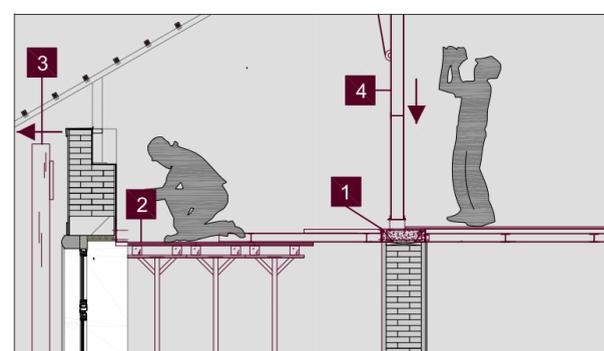
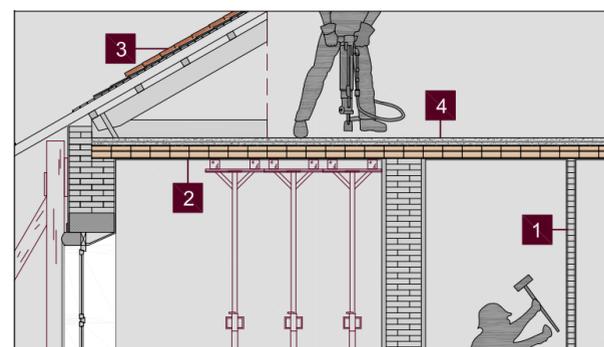
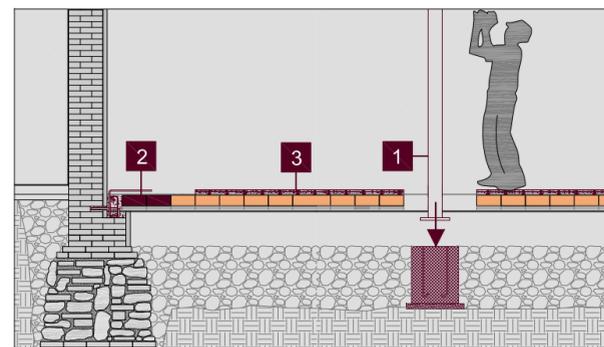
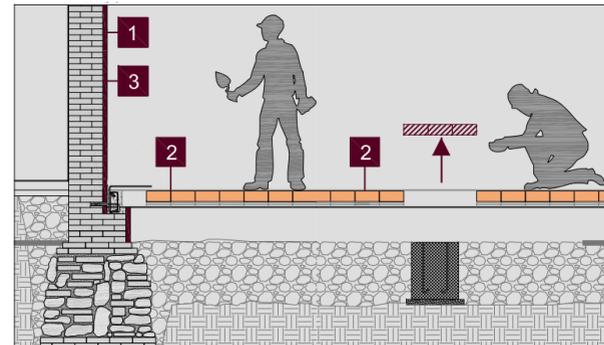
Legenda

- perimetro area cantiere
- tratti viari soggetti a chiusura parziale
- edifici oggetto di demolizione
- vincolo in alzata

Perimetrazione dell'area di cantiere con recinzione. Chiusura parziale di Via Celoria durante la demolizione dei due edifici in affaccio su strada, unica carreggiata a senso unico alternato. Taglio delle alberature che possono costituire vincolo nella movimentazione aerea. Verifica presenza di reti impiantistiche aeree e nel sottosuolo, valutazione possibili ulteriori elementi di vincolo. Individuazione delle aree necessarie alle lavorazioni da effettuare in cantiere. Posizionamento delle gru, evitando interferenze tra le stesse.

1. edifici oggetto di demolizione
2. vegetazione vincolante
3. linee aeree

Il processo realizzativo



Fase 1



1. rimozione dell'intonaco esistente al P-1
2. rimozione della fila di pignatte voltate vicine ai muri portanti e puntalmente dove si prevede lo inserimento dei plinti
3. consolidamento della muratura con la tecnica dell'intonaco armato

Fase 2



1. posa in opera plinti prefabbricati e pilastri in acciaio
2. creazione di cordoli di rinforzo e sostituzione pignatte
3. consolidamento solaio con metodo Tecnaria
4. puntellamento dell'impalcato soprastante e successivo consolidamento

Fase 3



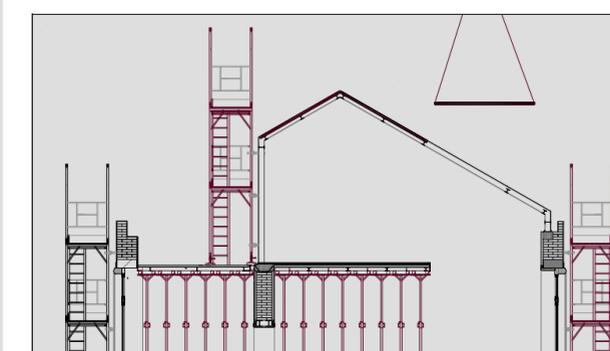
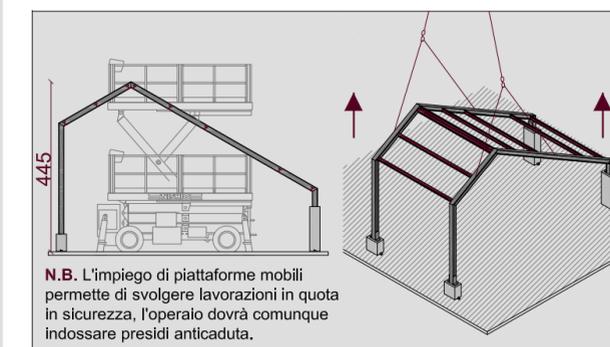
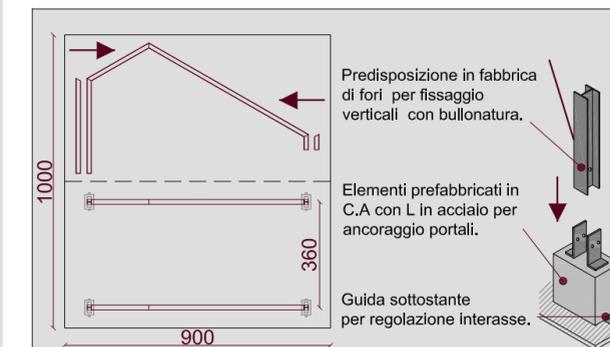
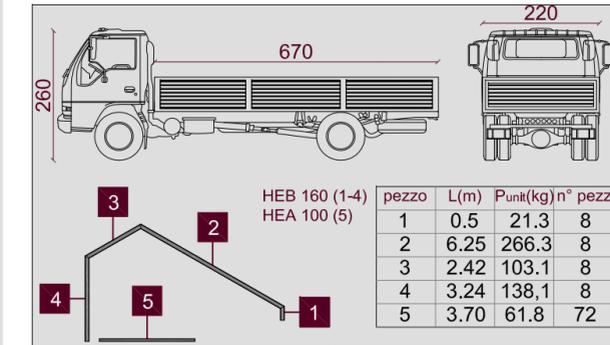
1. demolizione tramezzi interni
2. puntellamento solaio esistente e muri portanti
3. rimozione manto di copertura e smontaggio capriate lignee
4. demolizione solaio piano sottotetto e rimozione macerie

Fase 4



1. realizzazione cordoli in C.A.
2. imbullonatura profili ad L e montaggio solaio in acciaio
3. smontaggio puntellazione muratura
4. messa in opera portali copertura, loro ancoraggio e realizzazione pacchetto di chiusura

Il processo realizzativo



Approvvigionamento



1. trasporto all'area di cantiere con autocarro fino a 18 t
2. si preve che tutto il materiale possa essere trasportato in un unico viaggio
3. imballaggio separato per tipologie e pezzatura profili
4. scarico e movimentazione alla area di stoccaggio con gru

Montaggio a piè d'opera 1

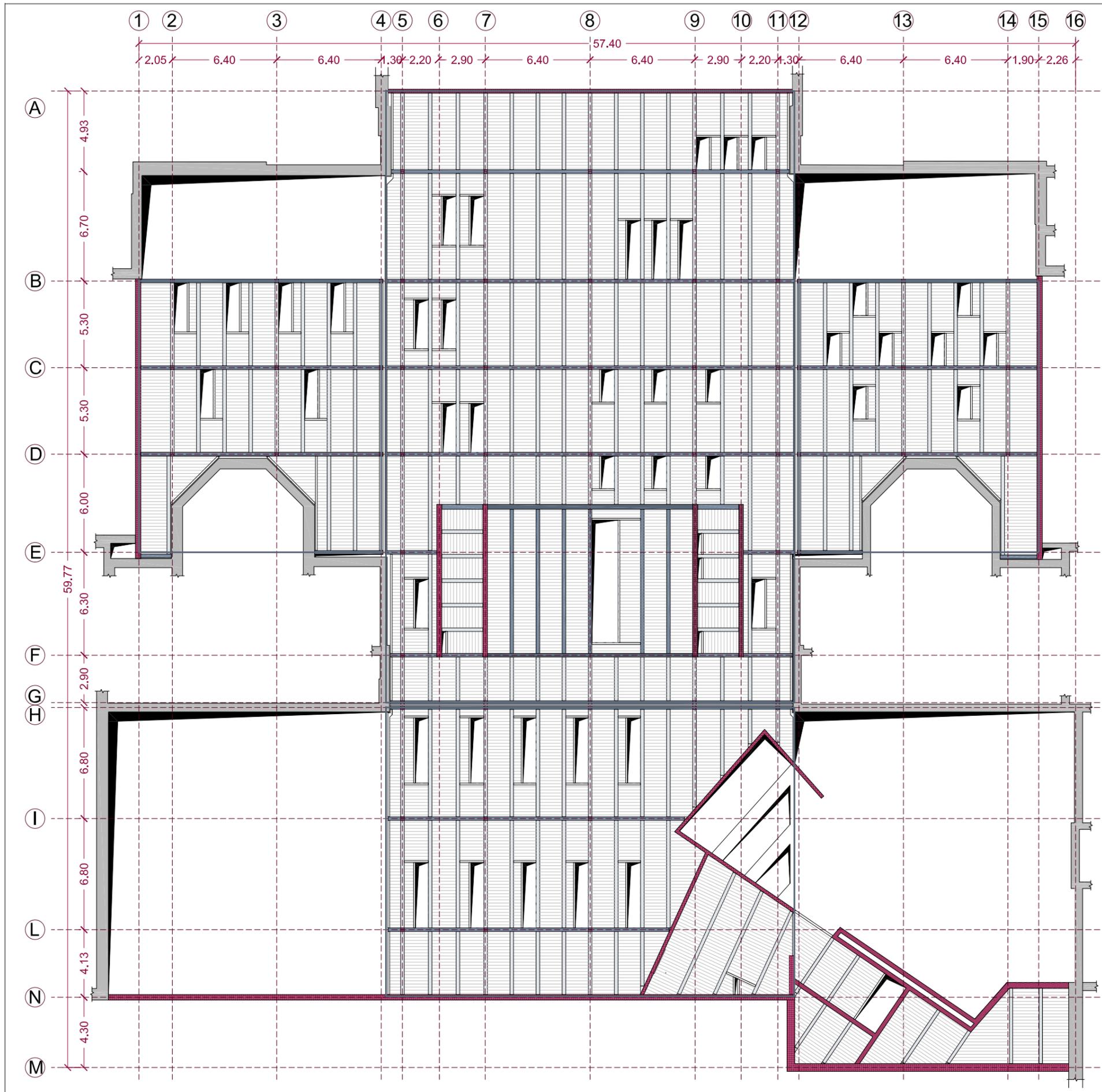
1. area lavorazione con piano livellato e drenato
2. montaggio e imbullonatura profili sul piano orizzontale
3. movimentazione, posizionamento in verticale con gru
4. fissaggio temporaneo in dima per successivo completamento modulo

Montaggio a piè d'opera 2

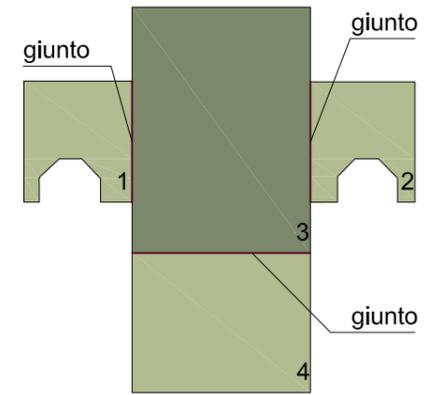
1. sollevamento travi secondarie con gru
2. impiego di piattaforma mobile per fissaggio e imbullonatura elementi secondari
3. posizionamento in copertura modulo strutturale completato con ausilio di gru

Montaggio in copertura

1. fissaggio dei portali all'edificio
2. realizzazione ponteggio interno sopra solaio puntellato per successive lavorazioni
3. movimentazione in copertura travi secondarie di collegamento tra moduli, lamiera grecata e strati di finitura

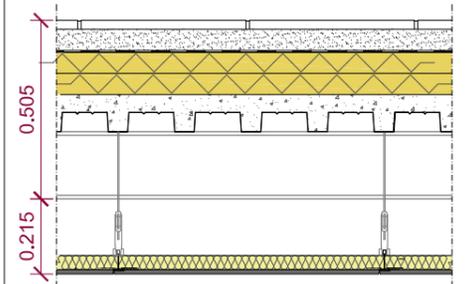


Divisione in 4 parti

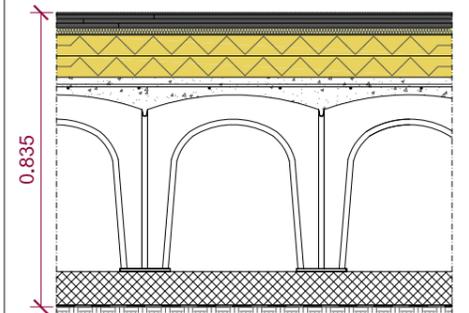


Pacchetti tecnologici _ scala 1:20

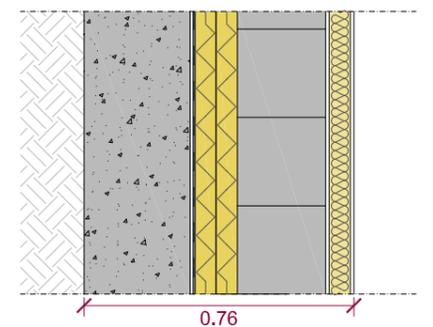
CO.05 $U = 0,1857 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



CO.06 $U = 0,2774 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



CV.03 $U = 0,1315 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Il progetto impiantistico



16. Il processo di progettazione impiantistica

Il progetto impiantistico consiste nella scelta e nel dimensionamento degli impianti delle varie parti del progetto presenti all'interno dell'area di intervento. Poiché tale area ospita una serie di funzioni che, benché fortemente legate tra loro, risultano differenti l'una dall'altra, ciascuna porzione sarà autonoma da un punto di vista impiantistico, in corrispondenza con le proprie esigenze.

Il processo di progettazione impiantistica è articolato in quattro fasi fondamentali quali:

- individuazione delle tipologie di impianto che si intendono utilizzare all'interno del complesso;
- stima dei carichi termici necessari per le varie zone di intervento;
- dimensionamento del generatore e dei terminali impiantistici (nello specifico: impianto ad aria per gli ambienti in ipogeo, impianto ad acqua per gli edifici esistenti);
- certificazione energetica¹ dell'edificio esistente a seguito dell'intervento di adeguamento.

La progettazione di nuovi edifici, così come il recupero di quelli esistenti, non può prescindere dal concetto di **architettura sostenibile**; è necessario quindi progettare manufatti in grado di limitare gli impatti sull'ambiente per tutto il loro ciclo di vita. Tale obiettivo ha condotto verso una scelta di adeguate e integrate soluzioni tecnologiche e impiantistiche quali:

- riduzione dei consumi energetici tramite un adeguato isolamento dell'involucro edilizio realizzato con fibre vegetali e non sintetiche²;
- ottimizzazione delle risorse energetiche non rinnovabili con opportuni sistemi di accumulo e scambiatori di calore;
- ricorso alle fonti energetiche rinnovabili, quali il solare fotovoltaico e la geotermia;
- utilizzo di impianti di distribuzione ad alta efficienza.

16.1. Energie rinnovabili

Uno degli aspetti principali di cui si è tenuto conto è quello relativo all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili attraverso lo sfruttamento dell'*energia solare* e dell'acqua di falda come vettore *geotermico*.

Per quanto riguarda la radiazione **solare**, si è scelto di realizzare un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica (connesso alla rete pubblica) tramite la collocazione di moduli posti sui tetti di alcuni edifici riconvertiti a residenza per studenti (edifici 4, 5, 6 e 8). Tali pannelli sono stati collocati solo su alcune falde, così che la loro disposizione risulti non troppo impattante a livello architettonico, seguendo lo schema riportato a nella figura 16.3. In questa maniera è stata realizzata una superficie captante con pannelli esposti a est, ovest e sud che possano garantire una potenza di picco pari a 36,6 kW (grazie a una superficie totale di quasi 300 m²). Utilizzando questa fonte di energia, è possibile considerare una potenza di picco per ogni singolo edificio della residenza per studenti pari a 6.10 kW.

La scelta di un impianto solare fotovoltaico rappresenta la soluzione applicativa più adeguata per le tipologie di impianto di progetto e consente di ridurre parzialmente i costi relativi all'energia elettrica. Inoltre, il sistema permette di sfruttare gli incentivi del cosiddetto "scambio sul posto", ossia un meccanismo che consente di immettere in rete l'energia elettrica prodotta ma non immedia-

¹ Utilizzo del Software CENED+ e della normativa della Regione Lombardia (Decreto 5796, 11/06/2009 *Aggiornamento per la procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici*).

² Cfr. Capitolo 13.

³ Ibidem.



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

tamente consumata, per poi prelevarla in un momento successivo per soddisfare i propri consumi.

I requisiti dei pannelli scelti sono i seguenti:

- pannello in silicio monocristallino, sup. captante 1,6 m² circa ⁴;
- modulo FV moderatamente ventilato;
- potenza di picco 144 Wp;
- rendimento fino al 17 %.

Fig. 16.1. - A sinistra: funzionamento di una cella fotovoltaica: dispositivo capace di convertire l'energia luminosa, incidente su di essa, direttamente in energia elettrica. Semiconduttore: silicio.

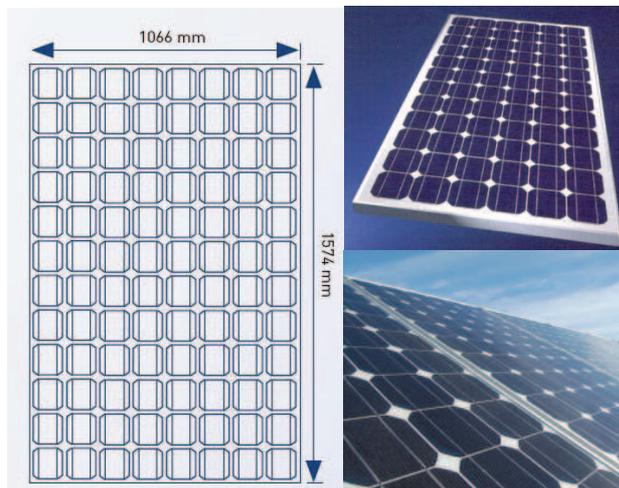
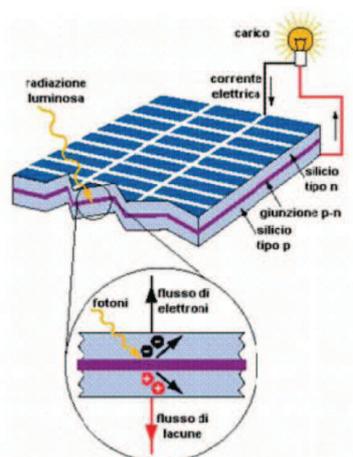
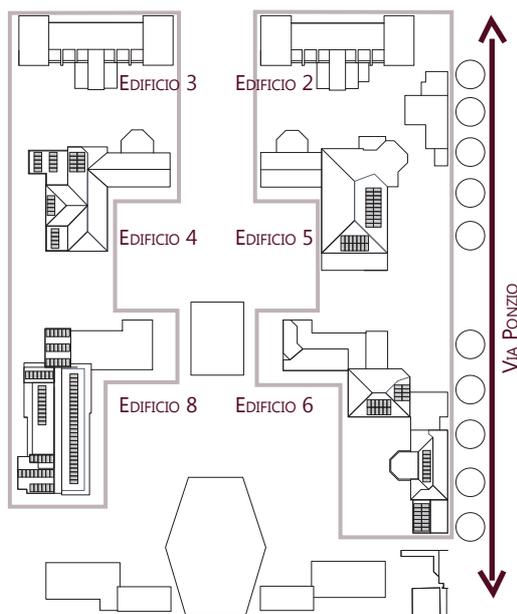


Fig. 16.2. - A destra: modulo scelto per il progetto.

Fig. 16.3. - Schema di posizionamento dei pannelli fotovoltaici all'interno dell'isolato di Veterinaria.



Gli edifici in figura sono quelli riconvertiti a residenza studentesca. Ad eccezione degli edifici 2 e 3, sono tutti dotati di una superficie captante in copertura (più o meno grande a seconda della falda) formata da pannelli solari fotovoltaici ad alto rendimento. L'inclinazione dei pannelli così disposti è di circa 30°. Come si può notare dallo schema, si è evitato di posizionare i moduli fotovoltaici verso l'interno dell'isolato - per questioni architettoniche e compositive - o in zone particolarmente ombreggiate: sono state quindi evitate sia le falde vicine alle fronde degli alberi sia quelle poste in zone ove la forma stessa dell'edificio potesse creare un ostacolo alla captazione dell'energia solare. Il sistema serve tutti e sei gli edifici.

Un altro tipo di fonte rinnovabile utilizzata è la **geotermia**: il sottosuolo, infatti, può essere inteso come serbatoio termico dal quale estrarre calore durante la stagione invernale e al quale cederne durante la stagione estiva, utilizzando opportuni scambiatori di calore.

Si è pensato di utilizzare un sistema a bassa entalpia (20°C < t < 90°) che sfrutti il calore della falda posta a 4,5 m di profondità.

I componenti del sistema sono:

1. connessione a terra: collegamento con la falda idrica posta a -4,5 m
2. pompa di calore acqua-acqua per l'esistente e acqua-aria per l'ipogeo
3. impianto interno di distribuzione (differenziato negli edifici esistenti e nell'ipogeo)

⁴ Il silicio monocristallino è quello che garantisce le prestazioni migliori in termini di fotovoltaico.

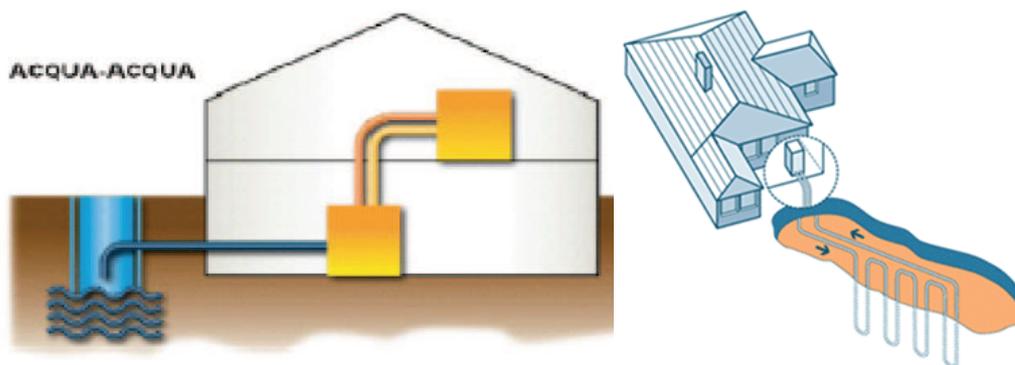


Fig. 16.4. e fig. 16.5. - Schemi che indicano il funzionamento di un impianto geotermico:
 - acqua-acqua per l'esistente;
 - acqua-aria per l'ipogeo.

16.2. Stima dei carichi termici

La prima fase per giungere ad una corretta progettazione dei sistemi di riscaldamento e di condizionamento consiste nella determinazione dei carichi termici che vengono calcolati a partire dalle dispersioni delle chiusure e delle rispettive superfici trasparenti.

I pacchetti tecnologici sono stati studiati per garantire un livello di isolamento termico in linea con le richieste della normativa vigente, le loro trasmittanze sono state calcolate a partire dalla conduttività dei singoli strati i cui materiali sono stati selezionati allo scopo di assicurare un'elevata resistenza al passaggio del flusso di calore.

Di seguito viene riportato un quadro riassuntivo dei dati preliminari necessari al dimensionamento dell'impianto quali:

- i valori di resistenza e trasmittanza totali delle chiusure dell'intero sistema tecnologico relative al complesso di Veternaria⁵.
- il computo delle superfici attraverso le quali avvengono i fenomeni di dispersione nel periodo invernale e di trasmissione e irraggiamento in quello estivo.

| Codice | Elemento tecnico | Resistenza R [m ² K/W] | Trasmittanza U [W/m ² K] |
|----------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| CV.01/p | Parete perimetrale verticale in mattoni pieni e isolamento interno | 3.3963 | 0.2944 |
| CV.02 | Parete camere sottotetto | 5.2053 | 0.1922 |
| CO.01/p | Solaio controterra (voltine e putrelle metalliche) consolidato con soletta collaborante | 5.8119 | 0.1721 |
| CO.03/p | Solaio di copertura con finitura in cotto e rame e sottostruttura in legno | 5.1952 | 0.1952 |
| CO.02 | Solaio di copertura con finitura in cotto e rame con sottostruttura metallica | 5.2053 | 0.1922 |
| CO.04 | Solaio di copertura (pavimento ballatoio) con sistema isolante con pendenza integrata | 3.6568 | 0.2735 |
| CO.05 | Solaio di copertura orizzontale dello spazio ipogeo (ex-novo) con sottostruttura metallica | 5.3836 | 0.1857 |
| CO.06 | Solaio controterra dello spazio ipogeo (ex-novo) con sistema a igloo | 3.9250 | 0.2548 |
| CO.07 | Solaio di copertura ipogeo con tetto giardino | 7.0226 | 0.1424 |
| CV.03 | Muro controterra dello spazio ipogeo (ex-novo) con blocchi in cls | 6.3446 | 0.1576 |
| S1 | Serramento in acciaio a taglio termico con doppio vetro | 1.7000 | 0.5882 |
| S2 | Serramento tipo "Velux standard basso-emissivo" | 1.4000 | 0.7143 |
| S3 | Serramento con triplo vetro stratificato a bassa emissività | 2.0650 | 0.4840 |

Tab. 16.1. - Valori di resistenza e trasmittanza delle superfici di involucro.

⁵ Cfr. Capitolo 13.



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

Una volta definite le trasmittanze dei singoli pacchetti, calcolate a partire dalla conduttività dei singoli, strati si è reso necessario eseguire il computo di tutte le superfici disperdenti del complesso architettonico. Si riportano di seguito i risultati finali:

Tab. 16.2. - Computo delle superfici disperdenti.

| Elemento tecnico | Esposizione | Residenza ⁶ [m ²] | Incubatori [m ²] | Ipogeo [m ²] |
|------------------|-------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| CV.01/p | NORD | 332.72 | 119.23 | |
| CV.01/p | EST | 173.67 | 55.23 | - |
| CV.01/p | SUD | 350.94 | 140.09 | - |
| CV.01/p | OVEST | 175.98 | 63.29 | - |
| CV.02 | SUD | 49.70 | - | - |
| CV.03 | terreno | - | - | 395.68 |
| CO.01/p | H | - | 584.00 | - |
| CO.02 | H | 235.82 | - | - |
| CO.03/p | H | 289.74 | - | - |
| CO.04 | H | 132.50 | - | - |
| CO.05 | H | - | - | 1109.36 |
| CO.06 | terreno | - | - | 1726.02 |
| CO.07 | H | - | - | 501.04 |
| S1 | NORD | 118.39 | 35.92 | 92.52 |
| S1 | EST | 38.08 | 5.60 | 36.32 |
| S1 | SUD | 136.62 | 14.80 | - |
| S1 | OVEST | 35.77 | 9.54 | 73.92 |
| S2 | H | 28.50 | - | - |
| S3 | H | - | - | 116.64 |

Tutti i dati fin qui riportati concorrono al dimensionamento del sistema impiantistico generale, che è stato suddiviso principalmente in due settori:

- impianto acqua-aria per lo spazio ipogeo;
- impianto acqua-acqua per tutti gli edifici esistenti soggetti ad adeguamento.

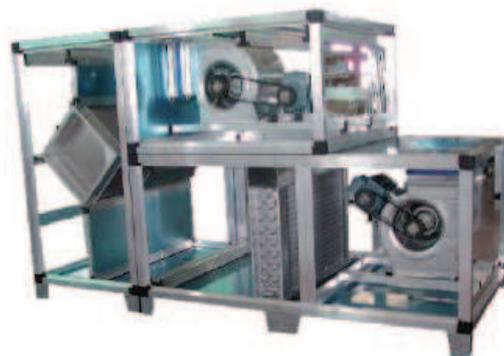
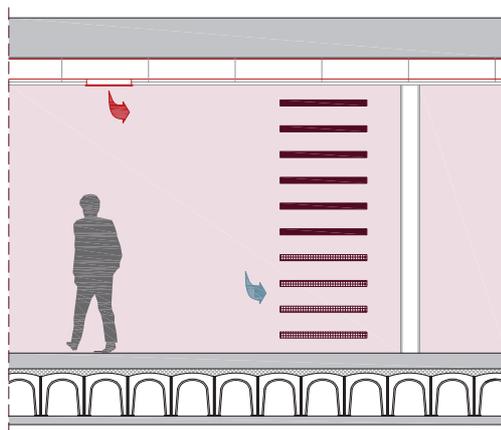
16.3. Valutazioni impiantistiche di progetto: impianto ad aria

Per il condizionamento (invernale ed estivo) e per la ventilazione dello spazio in ipogeo è stato previsto un sistema impiantistico ad aria con mandata dall'alto (posta nel controsoffitto) e ripresa dal basso, coi terminali collocati in opportune contropareti come evidenziato in figura.

Fig. 16.6. e 16.7 - Impianto ad aria: mandata dall'alto, ripresa dal basso.

A sinistra: le bocchette di ripresa sono installate nelle contropareti: le griglie sono inserite in un sistema decorativo a losanghe con parte inferiore traforata.

A destra: U.T.A. con recuperatore di calore.



⁶ Ci si riferisce al solo Edificio Numero 3.



L'impianto ad aria scelto è costituito da un'unità centrale di condizionamento con recuperatore di calore (UTA), il quale permette di garantire i valori della portata minima d'aria esterna e di estrazione definiti dalla UNI 10339, riducendo al contempo considerevolmente la dispersione termica.

In questo sistema l'aria, dopo essere stata sottoposta a filtraggio, a riscaldamento e/o raffreddamento, umidificazione o deumidificazione, viene avviata, per mezzo di un ventilatore, nei canali di distribuzione, pervenendo, infine, agli elementi terminali d'impianto (bocchette di mandata a soffitto) che provvedono a immetterla nei locali.

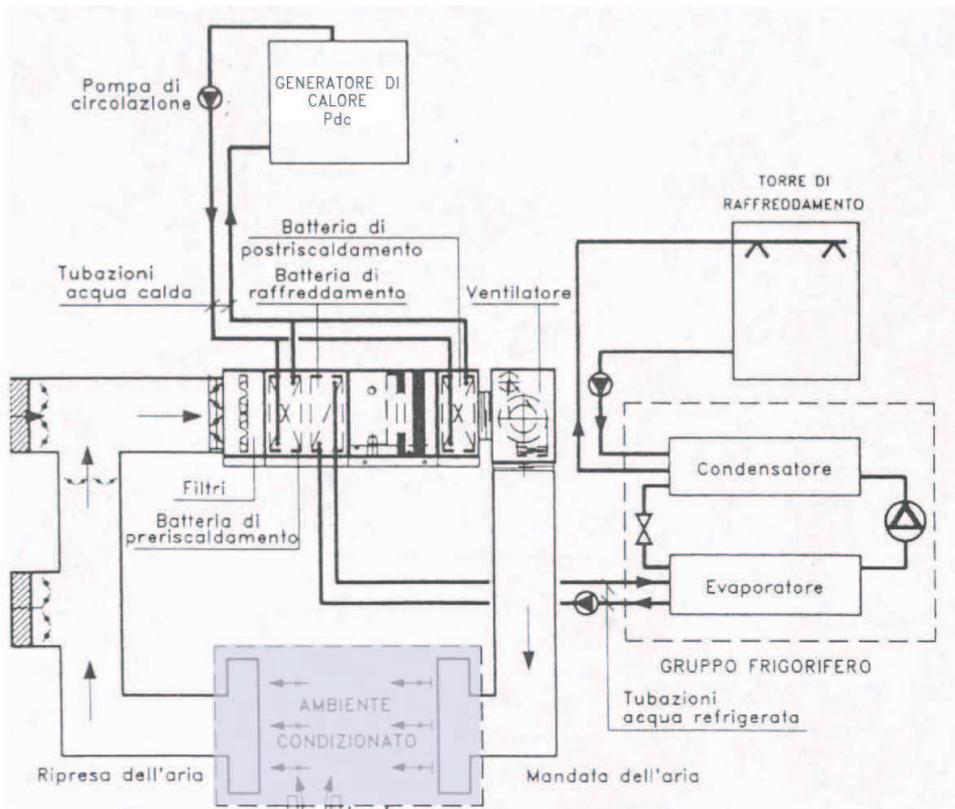


Fig. 16.8. - Schema di funzionamento del sistema ad aria.

La portata dell'aria, determinata dall'entità dei carichi massimi ai quali l'impianto deve contemporaneamente far fronte, risulta non costante: la velocità in uscita dalla centrale è pari a 5 m/s, ma si riduce a 1 o 2 m/s a livello dei terminali per un maggiore comfort percettivo e acustico.

A seconda della stagione, l'aria viene trattata seguendo due diverse modalità:

- in inverno l'aria esterna viene aspirata nella macchina; il primo passaggio è all'interno del recuperatore di calore, nel quale l'aria assorbe calore dall'aria di ricircolo e subisce così un iniziale incremento della temperatura. A questo punto l'aria viene ulteriormente riscaldata grazie alla pompa di calore acqua-aria: il risultato è quello di ottenere aria nelle condizioni termo-igrometriche richieste per poter essere immessa nell'ambiente;

- durante il periodo estivo l'aria segue lo stesso percorso ma, dopo essere passata per il filtro, subisce dapprima un raffreddamento con deumidificazione all'interno della batteria di raffreddamento e, in seguito, un post-riscaldamento che ne aumenta la temperatura mantenendone costante l'umidità specifica, diminuendone l'umidità relativa con il risultato di ottenere aria pronta ad essere immessa in ambiente.



16.3.1. Dimensionamento del sistema di distribuzione: bocchette

Per il dimensionamento del sistema di distribuzione e della potenza di picco utile al generatore (necessaria per dimensionare l'ingombro dell'UTA), è stato calcolato il fabbisogno termico dei locali dello spazio ipogeo. Per effettuare tale calcolo, si è tenuto conto delle dispersioni per **trasmissione**, attraverso gli elementi opachi e trasparenti, e di quelle per **ventilazione**: queste ultime sono state opportunamente ridotte tenendo conto dell'apporto fornito dal recuperatore di calore (il quale riduce le dispersioni di circa il 50%).

Il dimensionamento viene effettuato ipotizzando le condizioni più gravose, ossia quando la temperatura esterna è minima. Nel caso in esame le condizioni di progetto per il sito di intervento sono le seguenti:

| | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Comune: Milano | Temperatura esterna: - 5° C |
| Mese di riferimento: gennaio | Temperatura interna: 20° C |
| | Temperatura terreno: 5° C |

Attraverso la formula:

$$Q [W] = A [m^2] \times K [W/mq K] \times \Delta T [K]$$

sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Tab. 16.3. -
Dispersioni per
trasmissione dello
spazio ipogeo.

| Locale | Disp. verticali Q _{v1} [W] | Disp. orizzontali Q _{v2} [W] | Disp. finestre Q _{v3} [W] | Tot. trasmissione Q _{TOT} [W] |
|---|--|--|---------------------------------------|---|
| Aula studio 1 | 215.87 | 1564.93 | 2269.33 | 4050.13 |
| Spazio comune | 308.92 | 4892.08 | 1160.12 | 6361.12 |
| Aula studio 2 | 218.77 | 1579.78 | 1649.96 | 3448.51 |
| Mensa / bar | 597.67 | 4372.13 | 2762.69 | 7732.49 |
| <i>Totale dispersioni per trasmissione ipogeo</i> | | | | 21592.26 |

Il calcolo delle dispersioni per ventilazione è stato eseguito per ogni locale tenendo in considerazione il rispettivo numero dei ricambi d'aria per ora. E' stato considerando il seguente numero di ricambi ora:

n = 2 → ricambi ora per aule studio e spazi comuni

n = 4 → ricambi ora per bar e mensa

Considerando un'altezza dei locali pari a 3,20 m, attraverso la formula:

$$Q [W] = n \times V [m^3] \times C_{sv} [Wh/m^3K] \times \Delta T [K]$$

con C_{sv} = 0.34 Wh/m³K

sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Tab. 16.4. -
Dispersioni per
ventilazione dello
spazio ipogeo.

| Locale | Ricambi ora | Volume V [m ³] | C _{sv} [W] | Diff. temp. ΔT [K] | Dispersioni Q [W] |
|---|-------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Aula studio 1 | 2 | 1952.57 | 0.34 | 25 | 33193.73 |
| Spazio comune | 2 | 6106.23 | 0.34 | 25 | 103805.85 |
| Aula studio 2 | 2 | 1961.45 | 0.34 | 25 | 33344.61 |
| Mensa / bar | 4 | 5476.08 | 0.34 | 25 | 186186.66 |
| <i>Totale dispersioni per ventilazione ipogeo</i> | | | | | 356353.86 |

La presenza del recuperatore di calore permette di dimezzare le dispersioni per ventilazione calcolate: il valore si ridurrà quindi a **178265.43 W**



La zona adibita a mensa e bar potrebbe essere verosimilmente amministrata da un gestore diverso da quello della residenza studentesca. Per agevolare tale possibile suddivisione, si è deciso di separare il sistema impiantistico in due strutture indipendenti. Le due UTA state quindi collocate in due zone diverse: definiremo UTA 1 quella destinata agli spazi comuni alla residenza e UTA 2 quella per il bar-mensa.

Il loro dimensionamento è stato definito tramite il calcolo della potenza utile al generatore nella seguente maniera:

| | | |
|---|---------------|-------------------|
| Area utile calpestabile | 1546.00 | m ² |
| f _{RH} (fattore di ripresa) | 18.00 | W/m ² |
| Densità dell'aria | 1.20 | kg/m ³ |
| Potenza di ripresa per intermittenza | 27828.00 | W |
| Q termica disponibile | 227.69 | kW |
| Potenza termica totale utile al generatore | 273.22 | kW |

Tab. 16.5. - Potenza termica utile al generatore.

Il valore 273.22 kW definisce la potenza termica complessiva utile al generatore per poter svolgere la sua funzione.

Sono state infine definite le potenze delle singole UTA in base ad un rapporto proporzionale.

| | | | |
|---------------|--------|----|---------|
| Potenza UTA 1 | 136.87 | kW | 50.09 % |
| Potenza UTA 2 | 136.35 | kW | 49.01 % |

Per il dimensionamenti dei condotti (tubi a sezione rettangolare), è stata calcolata la portata volumica e la variazione di velocità dell'aria da 5 m/s nel tubo in uscita dall'UTA a 1 o 2 m/s nei terminali. I valori trovati hanno permesso di far viaggiare i tubi all'interno dei controsoffitti, i quali possiedono un'altezza interna di 40 cm. L'altezza massima dei tubi di mandata è stata mantenuta a 30 cm per le bocchette più grosse e a 23 cm per quelle più piccole, così da garantire, in alcuni punti, la sovrapposizione con i tubi della ripresa, alti massimo 13 cm. Solo in alcune zone particolari è stato necessario abbassare il controsoffitto.



Fig. 16.9. e fig. 16.10. - Schema di suddivisione delle zone di pertinenza dei singoli tubi.

A sinistra: zone di pertinenza dei condotti di mandata.

A destra: zone di pertinenza dei condotti di ripresa.

Suddividendo lo spazio di pertinenza dei condotti in zona come da fig. 16.9. e fig. 16.10., si riportano i valori ottenuti⁷:

⁷ Per una maggiore chiarezza si faccia riferimento alla tavola in allegato.



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

UTA 1 H. interpiano = 3.20 m
N. ricambi ora = 2

Tab. 16.6, tab. 16.7. e tab. 16.8. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: mandata.

| CANALE PRINCIPALE | Superficie | P. volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| tratto 0-1 | 1129,00 | 7225,60 | 5 | 0,401 | 0,32 | 1,25 |
| tratto 1-2 | 1001,67 | 6410,69 | 5 | 0,356 | 0,30 | 1,19 |
| tratto 2-3 | 912,68 | 5841,15 | 5 | 0,325 | 0,27 | 1,20 |
| tratto 3-4 | 693,25 | 4436,80 | 4 | 0,308 | 0,27 | 1,14 |
| tratto 4-5 | 417,53 | 2672,19 | 3 | 0,247 | 0,27 | 0,92 |
| tratto 5-6 | 309,03 | 1977,79 | 3 | 0,183 | 0,25 | 0,73 |

| SPAZIO COMUNE | Superficie | P. volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| zona 1 | 127,33 | 814,91 | 1 | 0,226 | 0,23 | 0,98 |
| zona 2 | 116,73 | 747,07 | 1 | 0,208 | 0,23 | 0,90 |
| zona 3 | 93,23 | 596,67 | 1 | 0,166 | 0,20 | 0,83 |
| zona 4 | 32,22 | 206,21 | 1 | 0,057 | 0,20 | 0,29 |
| zona 5 | 37,58 | 240,51 | 1 | 0,067 | 0,20 | 0,33 |
| zona 6 | 88,99 | 569,54 | 1 | 0,158 | 0,20 | 0,79 |
| zona 7 | 64,92 | 415,49 | 1 | 0,115 | 0,20 | 0,58 |
| zona 8 | 34,76 | 222,46 | 1 | 0,062 | 0,20 | 0,31 |
| zona 9 | 36,10 | 231,04 | 1 | 0,064 | 0,20 | 0,32 |

| AULE STUDIO | Superficie | P. volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|-------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| zona 10 | 103,75 | 664,00 | 1 | 0,184 | 0,23 | 0,80 |
| zona 11 | 107,05 | 685,12 | 1 | 0,190 | 0,23 | 0,83 |
| zona 12 | 102,70 | 657,28 | 1 | 0,183 | 0,23 | 0,79 |
| zona 13 | 108,50 | 694,40 | 1 | 0,193 | 0,23 | 0,84 |

Tab. 16.9. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: ripresa.

| SPAZIO COMUNE AULE STUDIO | Superficie | P. volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Largh. |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|--------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| R 11, 12, 13, 14, 15 | 623,17 | 3988,29 | 5 | 0,222 | 0,30 | 0,74 |
| R 9, 10, 16, 17 | 434,43 | 2780,35 | 5 | 0,154 | 0,30 | 0,51 |
| R 10, 16, 18 | 341,26 | 2184,06 | 5 | 0,121 | 0,25 | 0,49 |
| R 12, 13, 14, 15 | 446,62 | 2858,37 | 5 | 0,159 | 0,25 | 0,64 |
| Ripresa 9 | 93,17 | 596,29 | 3 | 0,055 | 0,13 | 0,42 |
| Ripresa 10 | 130,11 | 832,70 | 3 | 0,077 | 0,20 | 0,39 |
| Ripresa 11 | 176,55 | 1129,92 | 3 | 0,105 | 0,13 | 0,80 |
| Ripresa 12 | 102,04 | 653,06 | 3 | 0,060 | 0,13 | 0,47 |
| Ripresa 13 | 133,44 | 854,02 | 3 | 0,079 | 0,13 | 0,61 |
| Ripresa 14 | 102,7 | 657,28 | 3 | 0,061 | 0,13 | 0,47 |
| Ripresa 15 | 108,44 | 694,02 | 3 | 0,064 | 0,13 | 0,49 |
| Ripresa 16 | 103,75 | 664,00 | 3 | 0,061 | 0,13 | 0,47 |
| Ripresa 17 | 107,4 | 687,36 | 3 | 0,064 | 0,13 | 0,49 |



UTA 2 H. interpiano = 3.20 m
N. ricambi ora = 4

| CANALE PRINCIPALE | Superficie | P.volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| tratto 0-1 | 629,00 | 8051,20 | 5 | 0,447 | 0,38 | 1,18 |
| tratto 1-2 | 576,47 | 7378,82 | 5 | 0,410 | 0,38 | 1,08 |
| tratto 2-3 | 366,64 | 4692,99 | 5 | 0,261 | 0,30 | 0,87 |
| tratto 3-4 | 145,35 | 1860,48 | 5 | 0,103 | 0,20 | 0,52 |

Tab. 16.10. e 16.11. - Dimensionamento relativo all'UTA n 2: mandata.

| BAR / MENSA | Superficie | P.volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| zona 14 | 52,53 | 672,38 | 1 | 0,187 | 0,30 | 0,62 |
| zona 15, 16, 17 | 209,83 | 2685,82 | 3 | 0,249 | 0,30 | 0,83 |
| zona 16 | 68,36 | 875,01 | 2 | 0,122 | 0,23 | 0,53 |
| zona 17 | 28,23 | 361,34 | 1 | 0,100 | 0,30 | 0,33 |
| zona 18, 19, 21 | 221,29 | 2832,51 | 3 | 0,262 | 0,30 | 0,87 |
| zona 19 | 82,15 | 1051,52 | 2 | 0,146 | 0,23 | 0,63 |
| zona 19, 21 | 107,29 | 1373,31 | 3 | 0,127 | 0,23 | 0,55 |
| zona 20 | 119,65 | 1531,52 | 2 | 0,213 | 0,30 | 0,71 |
| zona 21 | 25,14 | 321,79 | 1 | 0,089 | 0,23 | 0,39 |

| BAR / MENSA | Superficie | P.volumica | Vel. aria | A _{netta} cond. | Altezza | Larghezza |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|---------|-----------|
| | S [m ²] | P [m ³ /h] | v [m/s] | A [W] | h [m] | L [m] |
| Ripresa 1 | 52,53 | 672,38 | 3 | 0,062 | 0,13 | 0,48 |
| Ripresa 2 | 92,69 | 1186,43 | 3 | 0,110 | 0,13 | 0,85 |
| Ripresa 3 | 88,51 | 1132,93 | 3 | 0,105 | 0,13 | 0,81 |
| Ripresa 4 | 115,83 | 1482,62 | 3 | 0,137 | 0,13 | 1,06 |
| Ripresa 5 | 92,61 | 1185,41 | 3 | 0,110 | 0,13 | 0,84 |
| Ripresa 5, 6, 7 | 261,51 | 3347,33 | 4 | 0,232 | 0,27 | 0,86 |
| Ripresa 6, 7 | 168,9 | 2161,92 | 4 | 0,150 | 0,20 | 0,75 |

Tab. 16.12. - Dimensionamento relativo all'UTA n 2: ripresa.

16.3.2. Dimensionamento U.T.A.

Per il dimensionamento dei vani tecnici che ospitano le unità di trattamento aria, si è fatto riferimento al catalogo "Samp" così da avere un'idea delle dimensioni che tali macchinari possono occupare. Come già accennato, si è deciso di utilizzare delle unità con recuperatore di calore, che sono leggermente più grosse rispetto alle unità tradizionali.

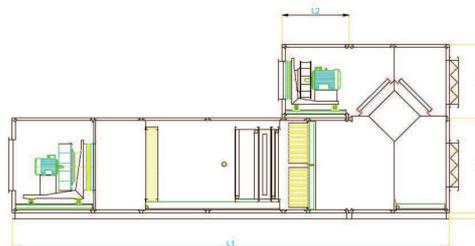


Fig. 16.11. - Dimensioni U.T.A. con recuperatore di calore.

Portata vol: **UTA 1 = 7225.60 kW**
UTA 2 = 7896.60 kW

| MOD AHU | Portata (m ³ /h) | L1* (mm) | L2* (mm) | L3** (mm) | P (mm) | H1 (mm) | H2 (mm) |
|---------|-----------------------------|----------|----------|-----------|--------|---------|---------|
| 4.30 | 4.300 | 4.700 | 1.400 | 250 | 1.315 | 800 | 800 |
| 5.00 | 5.000 | 4.900 | 1.450 | 250 | 1.315 | 900 | 900 |
| 6.00 | 6.000 | 5.050 | 1.550 | 250 | 1.315 | 1.010 | 1.010 |
| 7.20 | 7.200 | 5.350 | 1.600 | 350 | 1.315 | 1.160 | 1.160 |
| 8.60 | 8.600 | 5.500 | 1.700 | 450 | 1.315 | 1.315 | 1.315 |

Tab. 16.13. - Tabella delle dimensioni U.T.A. del catalogo "Samp".



16.4. Valutazioni impiantistiche di progetto: impianto ad acqua

Per il dimensionamento del sistema impiantistico di distribuzione dell'edificio numero 3 si è seguito il medesimo procedimento sopra riportato, tenendo conto delle dispersioni per **trasmissione** e di quelle per **ventilazione**.

Sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Tab. 16.14. -
Dispersioni per
trasmissione
dell'edificio numero 3:
piano -1.

| Locale ⁸ | Elementi disperdenti verticali Q_{vert} [W] | | | | Pavimento | Sup. finestr. | Tot trasm. |
|--|---|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|----------------|
| | P Nord | P Sud | P Est | P Ovest | Q_{orizz} [W] | Q_{trasp} [W] | Q_{TOT} [W] |
| -1.1 | 109,48 | | | 95,06 | 53,72 | 6,53 | 421,99 |
| -1.2 | 50,60 | | 36,07 | | 17,08 | 2,03 | 154,56 |
| -1.3 | | | | 95,76 | 57,55 | 3,15 | 232,35 |
| -1.4 | | 157,47 | | 123,47 | 72,24 | 6,12 | 506,74 |
| -1.5 | | 672,35 | | | 308,50 | 11,48 | 1268,79 |
| -1.6 | 166,10 | | | | 143,76 | 4,76 | 429,18 |
| -1.7 | 152,66 | | | | 116,84 | 6,73 | 269,50 |
| -1.8 | 164,39 | | | | 136,16 | 4,73 | 419,11 |
| -1.9 | 181,31 | | | | 74,81 | 2,84 | 327,26 |
| -1.10 | 123,33 | | 78,91 | 36,24 | 73,63 | 13,29 | 645,59 |
| -1.11 | | | | | 15,18 | - | 15,18 |
| -1.12 | | | | | 10,15 | - | 10,15 |
| -1.13 | | | 129,26 | | 50,25 | 2,70 | 247,26 |
| -1.14 | | 153,33 | 143,47 | 225,08 | 56,90 | 2,44 | 640,00 |
| -1.15 | | | 369,17 | | 22,30 | 5,20 | 521,88 |
| -1.16 | | | | 116,45 | 43,75 | - | 176,76 |
| <i>Totale dispersioni per trasmissione edificio numero 3, piano -1</i> | | | | | | | 6286,32 |

Tab. 16.15. -
Dispersioni per
trasmissione
dell'edificio numero 3:
piano terra.

| Locale ⁸ | Elementi disperdenti verticali Q_{vert} [W] | | | | El. orizz. | Sup. finestr. | Tot trasm. |
|---|---|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|----------------|
| | P Nord | P Sud | P Est | P Ovest | Q_{orizz} [W] | Q_{trasp} [W] | Q_{TOT} [W] |
| 0.1 | 128,37 | | | 108,28 | | 13,17 | 567,11 |
| 0.2 | 51,47 | | 47,73 | | | 5,20 | 229,63 |
| 0.3 | | | | 120,86 | | 5,20 | 251,27 |
| 0.4 | | 93,73 | | 121,17 | | 9,79 | 214,90 |
| 0.5 | | 101,31 | | | | 5,49 | 239,07 |
| 0.6 | | 571,45 | | | | 20,88 | 1095,38 |
| 0.7 | 95,66 | | | | | 5,20 | 226,08 |
| 0.8 | 118,36 | | | | | 2,52 | 181,60 |
| 0.9 | 184,99 | | | | | 11,61 | 476,32 |
| 0.10 | 185,44 | | | | | 11,00 | 461,52 |
| 0.11 | 94,66 | | | | | 5,20 | 225,08 |
| 0.12 | | 96,27 | | | | 6,30 | 254,36 |
| 0.13 | | 91,95 | 101,91 | | | 12,25 | 501,12 |
| 0.14 | | | 120,86 | | | 5,20 | 251,27 |
| 0.15 | 101,10 | | 118,45 | | | 15,59 | 610,80 |
| 0.16 | 78,26 | | | 47,73 | | 1,71 | 168,90 |
| 0.17 | | | | 72,53 | | - | 72,53 |
| 0.18 | | 89,24 | 178,65 | 107,53 | | 8,68 | 593,22 |
| 0.19 | | 86,65 | 209,86 | 296,24 | | 4,78 | 701,65 |
| <i>Totale dispersioni per trasmissione edificio numero 3, piano terra</i> | | | | | | | 7321,80 |

⁸ Per la suddivisione dei locali si faccia riferimento alle Fig. 13.22/23/24 del Paragrafo 13.5. *Verifiche di progetto.*



| Locale ⁸ | Elementi disperdenti verticali Q_{vert} [W] | | | | Soffitto | Sup. finestr. | Tot trasm. |
|---|---|--------|--------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | P Nord | P Sud | P Est | P Ovest | Q_{orizz} [W] | Q_{trasp} [W] | Q_{TOT} [W] |
| 1.1 | 130,11 | | | 113,84 | 42,73 | 13,90 | 635,41 |
| 1.2 | 61,12 | | 49,55 | | 13,55 | 4,35 | 233,37 |
| 1.3 | | | | 133,13 | 44,26 | 4,35 | 286,55 |
| 1.4 | | 102,31 | | 115,93 | 31,47 | 10,82 | 521,09 |
| 1.5 | | 112,69 | 51,20 | | 16,53 | 4,68 | 297,73 |
| 1.6 | | 605,01 | | | 621,07 | 20,06 | 1729,44 |
| 1.7 | 108,64 | 28,57 | | | 130,50 | 14,35 | 627,88 |
| 1.8 | 111,75 | 29,86 | | | 133,86 | 14,35 | 635,65 |
| 1.9 | 200,76 | 36,24 | | | 263,94 | 25,24 | 1134,38 |
| 1.10 | 205,69 | 56,52 | | | 259,41 | 30,08 | 1276,48 |
| 1.11 | 107,60 | 28,13 | | | 129,37 | 14,35 | 625,28 |
| 1.12 | | 113,65 | | 51,20 | 15,55 | 4,68 | 297,70 |
| 1.13 | | 103,66 | 114,01 | | 37,94 | 10,48 | 518,46 |
| 1.14 | | | 133,13 | | 43,85 | 4,35 | 286,13 |
| 1.15 | 120,32 | | 130,64 | | 42,33 | 13,05 | 620,74 |
| 1.16 | 62,27 | | | 49,55 | 14,06 | 4,35 | 235,03 |
| 1.17 | | | | 75,28 | 21,37 | - | 96,65 |
| 1.18 | | 109,78 | 185,43 | 128,76 | 67,55 | 4,35 | 600,67 |
| 1.19 | | 107,09 | 205,19 | 307,48 | 114,15 | 4,35 | 843,06 |
| <i>Totale dispersioni per trasmissione edificio numero 3, piano primo</i> | | | | | | | 11501,70 |

Tab. 16.16. -
Dispersioni per
trasmissione
dell'edificio numero 3:
piano primo.

Il calcolo delle dispersioni per ventilazione è stato eseguito seguendo lo stesso procedimento utilizzato per lo spazio ipogeo, considerando le dispersioni di ogni locale e tenendo in considerazione un numero dei ricambi d'aria per ora pari a $n = 0,5$ (valore per gli edifici esistenti residenziali).

Utilizzando i seguenti dati:

| | | | |
|-----------------------|--------|----------------------|--------|
| H piano seminterrato: | 3.76 m | Temperatura esterna: | - 5° C |
| H interpiano: | 5.22 m | Temperatura interna: | 20° C |
| H ultimo piano: | 3.32 m | Temperatura terreno: | 5° C |

Sono stati ottenuti i seguenti risultati:

| Piano | Ricambi ora | Volume V [m ³] | C_{sv} [W] | Diff. temp. ΔT [K] | Dispersioni Q [W] |
|---|-------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------------|
| Piano seminterrato | 0.5 | 2225.45 | 0.34 | 25 | 9152.65 |
| Piano terra | 0.5 | 2396.37 | 0.34 | 25 | 10184.57 |
| Piano primo | 0.5 | 1824.22 | 0.34 | 25 | 7752.93 |
| <i>Totale dispersioni per ventilazione edificio 3</i> | | | | | 27090.15 |

Tab. 16.17. -
Dispersioni per
ventilazione
dell'edificio numero 3.

16.4.1. Dimensionamento del sistema di emissione: ventilconvettori

Gli alloggi degli edifici esistenti sono serviti da un sistema impiantistico che abbina una pompa di calore a un sistema di emissione a ventilconvettori. Spesso per il risanamento di vecchi edifici i ventilconvettori rappresentano, grazie alla presenza di un opportuno scambiatore di calore, la soluzione ideale per il riscaldamento a risparmio energetico degli ambienti abitabili. Inoltre, grazie alla pompa di calore reversibile, i ventilconvettori possono essere impiegati per il



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

raffrescamento estivo.

I corpi scaldanti sono stati posizionati opportunamente nei vari ambienti e dimensionati a seconda del fabbisogno energetico. Nella tavola in allegato è possibile visualizzare un layout generale impiantistico dell'edificio 3.

Fig. 16.12. - Ventilconvettore modello "Riello".



A titolo esemplificativo sono stati scelti ventilconvettori tipo "Riello" (modelli RTM 22 - 15- 41), i quali presentano caratteristiche sia estetiche sia prestazionali elevate: attraverso il loro design pulito, garantiscono eleganza e flessibilità. Ottimi in termini di silenziosità, sono installabili sia verticalmente che orizzontalmente, permettendo la massima flessibilità di soluzioni. Costituiscono un impianto di riscaldamento e di raffrescamento e consentono un buon trattamento in deumidificazione.

Tab. 16.18. - Dati tecnici ventilconvettori "Riello".

| DATI TECNICI | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|--------|---------------|-----------------------------|---------|---------|---------|--------------|------------------------------|
| frigorifera frig/h | Potenza | | termica kW | Portata aria max m³/h | H mm | L mm | P mm | Codice n. | Denominazione commerciale |
| | W | kcal/h | | | | | | | |
| Modelli standard | | | | | | | | | |
| 1230 | 1430 | 1737 | 2020 | 324 | 657 | 792 | 220 | 4012201 | RTM 15 |
| 1875 | 2180 | 2623 | 3050 | 472 | 657 | 992 | 220 | 4012202 | RTM 22 |
| 2700 | 3140 | 3698 | 4300 | 569 | 657 | 992 | 220 | 4012203 | RTM 32 |
| 3474 | 4040 | 4979 | 5790 | 817 | 657 | 1192 | 220 | 4012204 | RTM 41 |
| 3801 | 4420 | 5366 | 6240 | 871 | 657 | 1192 | 220 | 4012205 | RTM 45 |

16.4.2. Certificazione energetica Cened per l'Edificio 3

Seguendo la Normativa della Regione Lombardia⁹ e attraverso il software Cened+¹⁰, è stata effettuata la certificazione energetica dell'edificio 3. Poiché il medesimo presenta due diverse destinazioni d'uso che, per il calcolo della classe energetica utilizzano dei parametri di riferimento e delle unità di misura diversi tra loro, si è reso necessario suddividere il fabbricato e produrre due ACE¹¹ differenti.

In entrambi i casi l'edificio è stato considerato **esistente** (costruito prima del 1930) con ristrutturazioni effettuate nell'anno 2013: in questo modo il calcolo dei ponti termici è stato eseguito in maniera **forfettaria**. Per entrambi la **zona termica** è unica (Z1).

INCUBATORI D'IMPRESA

■ Informazioni introduttive

| | | |
|---------------------|--|---------------|
| COMUNE | Milano | DATI GENERALI |
| ZONA CLIMATICA | E | |
| GRADI GIORNO | 2.404 | |
| RAPPORTO DI FORMA | 0.43 | |
| DESTINAZIONE D'USO | E.2 - Edifici adibiti ad uffici e assimilabili | |
| ANNO DI COSTRUZIONE | Prima del 1930 con ristrutturazioni nel 2013 | |

⁹ Decreto n. 5796 del 11.06.2009 - *Aggiornamento della procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici.*

¹⁰ Scaricabile gratuitamente dal sito www.cened.it/software

¹¹ Sigla utilizzata per indicare l'Attestato di Certificazione Energetica.



| | | |
|---------------------|--|----------|
| GENERAZIONE TERMICA | Combinata | IMPIANTO |
| TIPOLOGIA IMPIANTO | Pompa di calore con terminali ventilconvettori | |
| VMC | Assente | |
| FONTE RINNOVABILI | Solare fotovoltaico | |

■ *Dati generali zona termica*

| Grandezza | Unità di misura | Valore |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| CAPACITÀ TERMICA | | 105.0 |
| AREA TOTALE | m ² | 1310.1 |
| SUPERFICI UTILE | m ² | 440 |
| SUPERFICI LORDA | m ² | 584 |
| VOLUME NETTO | m ³ | 1512.6 |
| VOLUME LORDO | m ³ | 2160.8 |
| ALTEZZA NETTA MEDIA DEI LOCALI | m | 2.77 |
| TIPO DI VENTILAZIONE | | Aerazione - Ventilazione naturale |
| RICAMBI ORARI | h ⁻¹ | 1.38 |

Per il valore dei ricambi orari è stata utilizzata la seguente formula, riportata nel Decreto 5796 del 2009:

$$n = (v_{\min} * i_s * A) / V$$

dove :

v_{\min} è la portata specifica d'aria esterna minima richiesta nel periodo di occupazione dei locali, (Prospetto XI), [m³/h per persona];

i_s è l'indice di affollamento (Prospetto XI), [persone/m²];

A è la superficie utile di pavimento, [m²];

V è il volume netto della zona climatizzata o a temperatura controllata considerato, [m³].

| Categoria di edificio | Destinazione d'uso | i_s | \dot{V}_{\min} |
|-----------------------|---|-------|------------------|
| E.1 (1); E.1 (2) | Edifici residenziali | 0,04 | 39,6 |
| E.1 (3) | Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari | 0,05 | 39,6 |
| E.2 | Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili | 0,12 | 39,6 |
| E.3 | Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili | 0,08 | 39,6 |
| E.4 | Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto | 1,00 | 28,8 |
| E.5 | Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili | 0,25 | 36,0 |
| E.6 | Edifici adibiti ad attività sportive | 0,70 | 36,0 |
| E.7 | Edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili | 0,50 | 21,6 |
| E.8 | Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili | 0,25 | 36,0 |

Tab. 16.19. - Prospetto XI del Decreto 5796 del 2009.

Prospetto XI - Valori di i_s , \dot{V}_{\min} , in funzione della categoria di edificio

(Fonte: UNI 10339:1995)

I pacchetti tecnologici d'involucro (opachi e trasparenti) sono stati inseriti nel programma facendo riferimento ai dati di trasmittanza calcolati nel Capitolo 14 *Il progetto tecnologico*. Di conseguenza è stato possibile inserire le superfici di involucro coi relativi **aggetti** e **ostruzioni**.



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

L'edificio in esame è asservito da un unico generatore di calore che soddisfa il fabbisogno per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria.

Il sottosistema di generazione è una **pompa di calore** (posta in ambiente a temperatura controllata) di tipo acqua-acqua e il tipo di funzionamento della generazione del calore è a circolazione permanente di acqua in caldaia. La potenza termica nominale richiesta all'impianto è pari a circa 60 kW e la temperatura di mandata ai terminali è considerata pari a 45°. Il combustibile è l'**energia elettrica** (generata in parte dai pannelli fotovoltaici) e il COP ipotizzato è 3,5.

Il rendimento dei ventilconvettori è pari al 96 %.

Oltre ai dati sul generatore di calore e sull'impianto di emissione sono stati inseriti i dati relativi alle ramificazioni dell'ACS.

Come già accennato il complesso è dotato di un impianto fotovoltaico con pannelli in silicio mono-cristallino, moderatamente ventilati, inclinati di 30° rispetto all'orizzontale. I moduli orientati a sud hanno una superficie totale di 31.47 m² e potenza di picco pari a 3.93 kW, mentre quelli orientati a est-ovest hanno una superficie totale di 17.33 m² e potenza di picco pari a 2.17 kW.

A questo punto il software Cened+ è stato in grado di fornire la classe energetica della zona termica relativa agli **incubatori di impresa**.

■ Climatizzazione estiva ETc

Fig. 16.13. - Classe energetica estiva: incubatori d'impresa.



■ Riscaldamento - climatizzazione invernale EPh

Fig. 16.14. - Classe energetica invernale: incubatori d'impresa.



La classe energetica risulta in linea con le modifiche effettuate sull'involucro e sull'impianto ipotizzato.



RESIDENZE PER STUDENTI

■ *Informazioni introduttive*

| | | |
|---------------------|--|---------------|
| COMUNE | Milano | DATI GENERALI |
| ZONA CLIMATICA | E | |
| GRADI GIORNO | 2.404 | |
| RAPPORTO DI FORMA | 0.34 | |
| DESTINAZIONE D'USO | E.1 (3) - Edifici adibiti ad albergo, pensioni e attività assimilabili | |
| ANNO DI COSTRUZIONE | Prima del 1930 con ristrutturazioni nel 2013 | |
| GENERAZIONE TERMICA | Combinata | IMPIANTO |
| TIPOLOGIA IMPIANTO | Pompa di calore con terminali ventilconvettori | |
| VMC | Assente | |
| FONTI RINNOVABILI | Solare fotovoltaico | |

■ *Dati generali zona termica*

| Grandezza | Unità di misura | Valore |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| CAPACITÀ TERMICA | | 105.0 |
| AREA TOTALE | m ² | 2573.5 |
| SUPERFICI UTILE | m ² | 1027.9 |
| SUPERFICI LORDA | m ² | 1345.6 |
| VOLUME NETTO | m ³ | 4271.5 |
| VOLUME LORDO | m ³ | 6102.1 |
| ALTEZZA NETTA MEDIA DEI LOCALI | m | 3.22 |
| TIPO DI VENTILAZIONE | | Aerazione - Ventilazione naturale |
| RICAMBI ORARI | h ⁻¹ | 0.5 |

Per il valore dei ricambi orari è stato utilizzato quello usualmente adoperato per gli edifici esistenti.

I pacchetti tecnologici d'involucro (opachi e trasparenti) sono stati inseriti nel programma facendo riferimento ai dati di trasmittanza calcolati nel Capitolo 14 *Il progetto tecnologico*. Di conseguenza è stato possibile inserire le superfici di involucro coi relativi **aggetti** e **ostruzioni**.

L'edificio in esame è asservito da un unico generatore di calore che soddisfa il fabbisogno per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria.

Il sottosistema di generazione è lo stesso descritto in precedenza, ossia una **pompa di calore** (posta in ambiente a temperatura controllata) di tipo acqua-acqua. La potenza termica nominale richiesta all'impianto è pari a circa 60 kW e la temperatura di mandata ai terminali è considerata pari a 45°. Il combustibile è **l'energia elettrica** e il COP ipotizzato è 3,5.

Il rendimento dei ventilconvettori è pari al 96 %.

Oltre ai dati sul generatore di calore e sull'impianto di emissione sono stati inseriti i dati relativi alle ramificazioni dell'ACS.

Anche per le residenze studentesche sarà possibile usufruire dell'energia elettrica fornita dai pannelli fotovoltaici, le cui caratteristiche sono quelle sopra descritte.



IL PROGETTO IMPIANTISTICO

A questo punto il software Cened+ è stato in grado di fornire la classe energetica della zona termica relativa alle **residenze per studenti**.

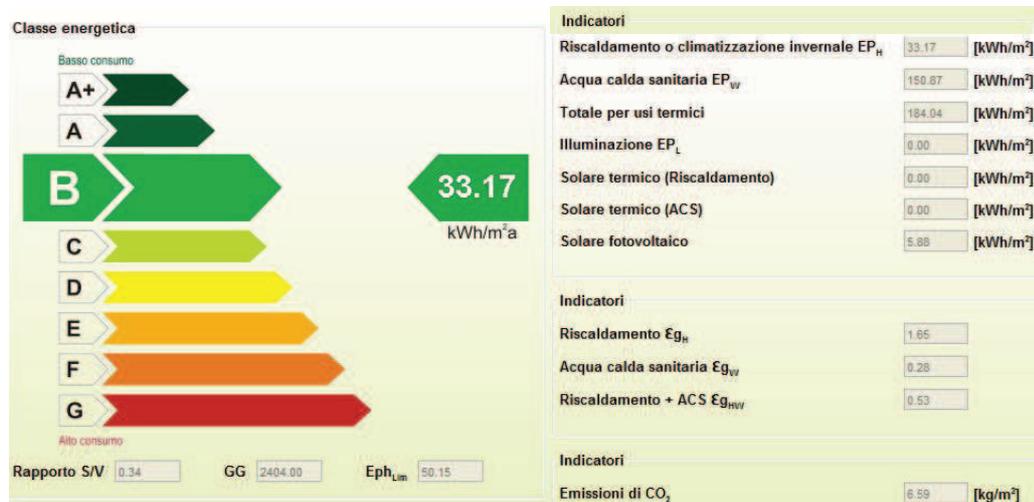
■ Climatizzazione estiva ETC

Fig. 16.15. - Classe energetica estiva: residenze per studenti.



■ Riscaldamento - climatizzazione invernale EPH

Fig. 16.16. - Classe energetica invernale: residenze per studenti.

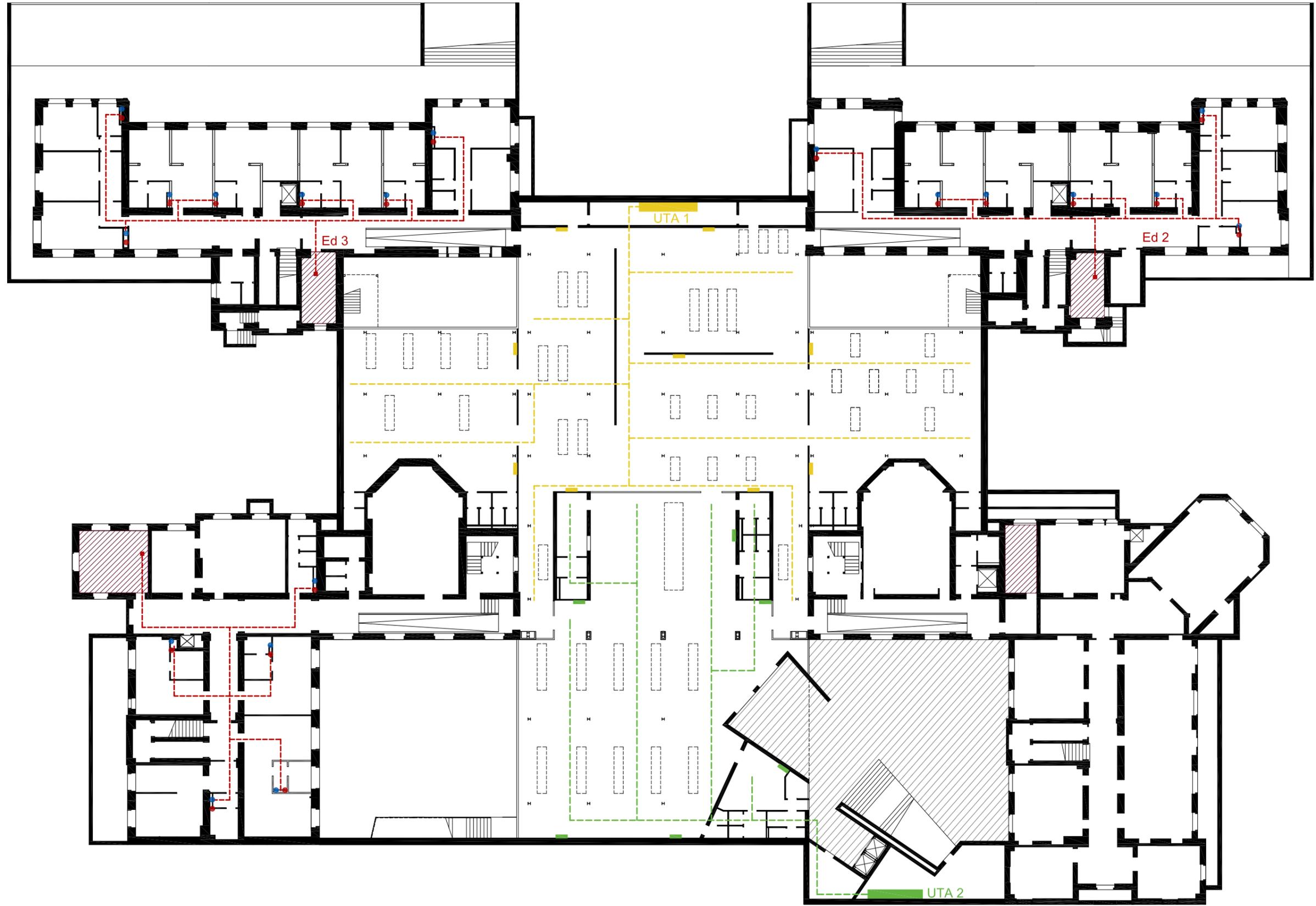


La classe energetica risulta in linea con le modifiche effettuate sull'involucro e sull'impianto impiantato.

Attraverso il Software CENED+ è stato possibile avere una stima dell'energia elettrica prodotta in toto dai pannelli durante tutto l'anno:

Tab. 16.20. - Energia elettrica prodotta attraverso l'impianto fotovoltaico.

| Periodo di calcolo | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GEN. | FEB. | MAR. | APR. | MAG. | GIU. | LUG. | AGO. | SETT. | OTT. | NOV. | DEC. |
| Esposizione EST-OVEST [kWh] | | | | | | | | | | | |
| 96.02 | 151.78 | 287.71 | 390.33 | 483.58 | 517.06 | 579.57 | 472.64 | 334.54 | 210.52 | 107.63 | 83.88 |
| Esposizione SUD [kWh] | | | | | | | | | | | |
| 79.82 | 116.68 | 199.32 | 239.48 | 272.58 | 280.91 | 320.10 | 280.64 | 221.90 | 158.76 | 88.63 | 72.76 |
| TOTALE [kWh] | | | | | | | | | | | |
| 175.84 | 268.46 | 487.02 | 629.81 | 756.16 | 797.97 | 899.67 | 753.28 | 556.44 | 369.28 | 196.26 | 156.64 |



FABBISOGNI

Ed 2
 Qtrasmissione 24939.54 W
 Qventilazione 26926.36 W

Ed 3
 Qtrasmissione 25109.82 W
 Qventilazione 27090.15 W

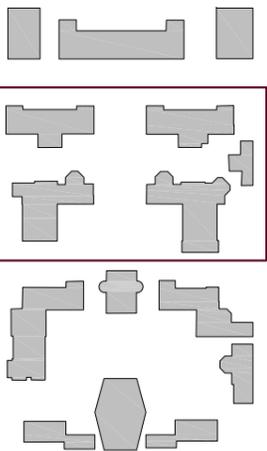
UTA 1
 Qtrasmissione 13859.76 W
 Qventilazione 170344.19 W

UTA 2
 Qtrasmissione 7732.49 W
 Qventilazione 186186.66 W

Potenza totale utile al generatore:

273.22 kW

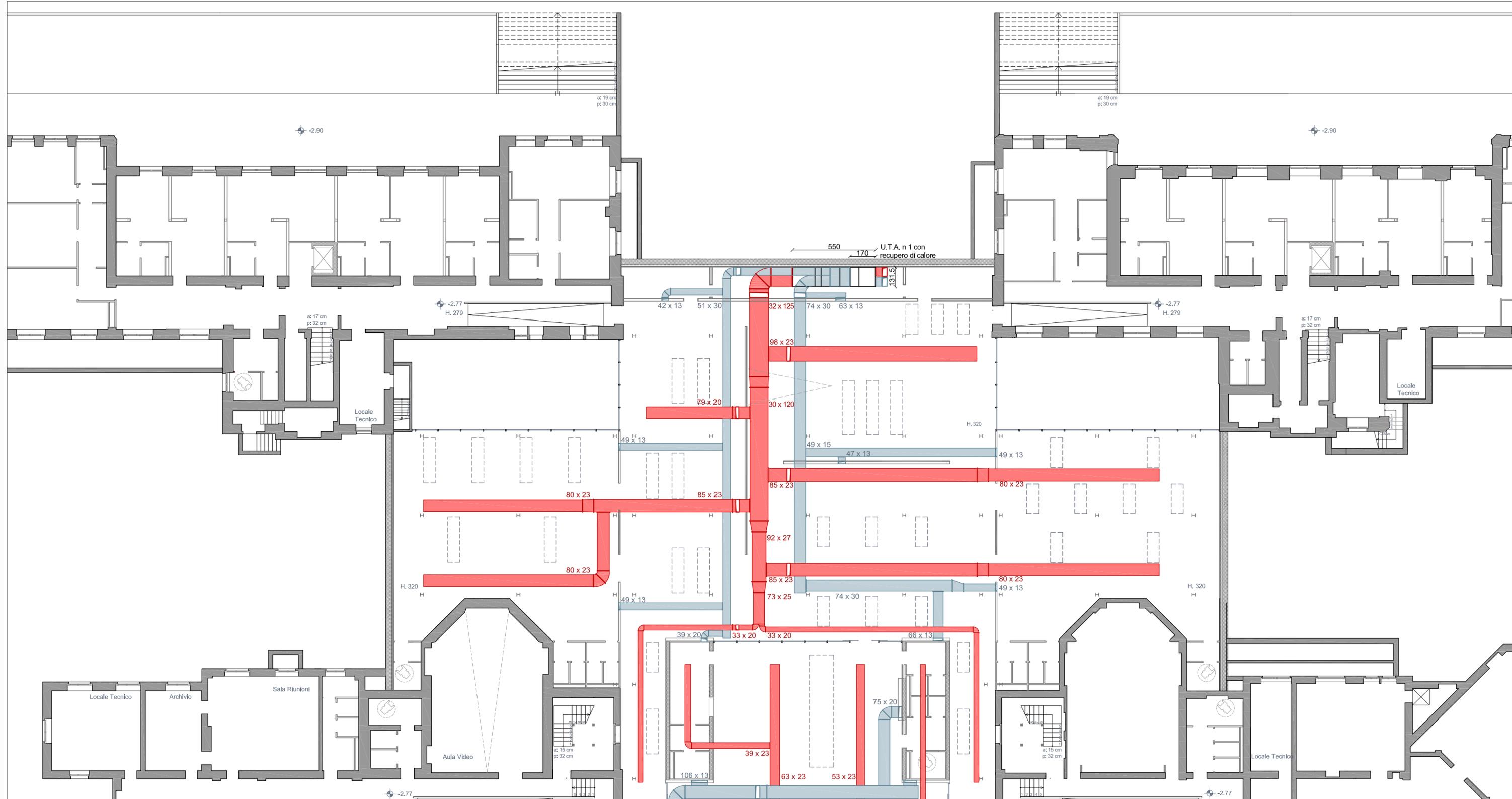
UTA 1 136.87 kW 50,09 %
UTA 2 136.35 kW 49,01 %



LEGENDA

-  Locali tecnici
-  Condotta ORIZZONT. a soffitto _ARIA
-  Condotta ORIZZONT. a pavimento _ACQUA
-  Condotta VERTICALE ACQUA
-  U.T.A.
-  U.T.A.



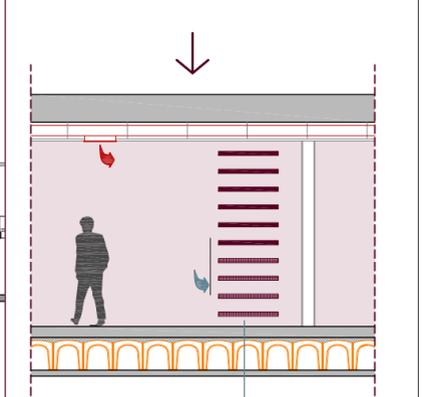


Tipologia di **UTA**: con recupero di calore tipo "Samp":

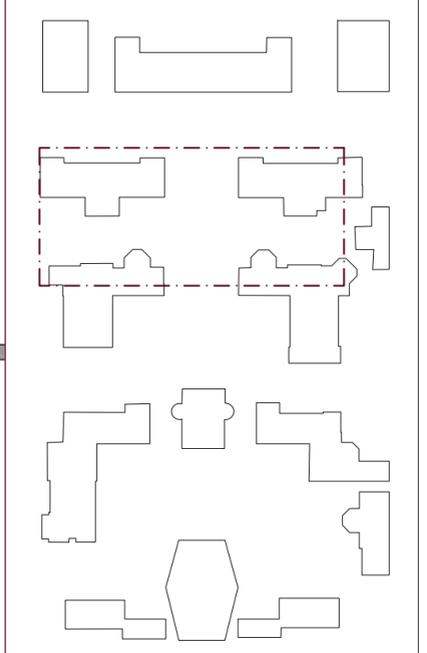
- portata max 6000 m³/h
- 505 x 131.5 x 80+80 cm

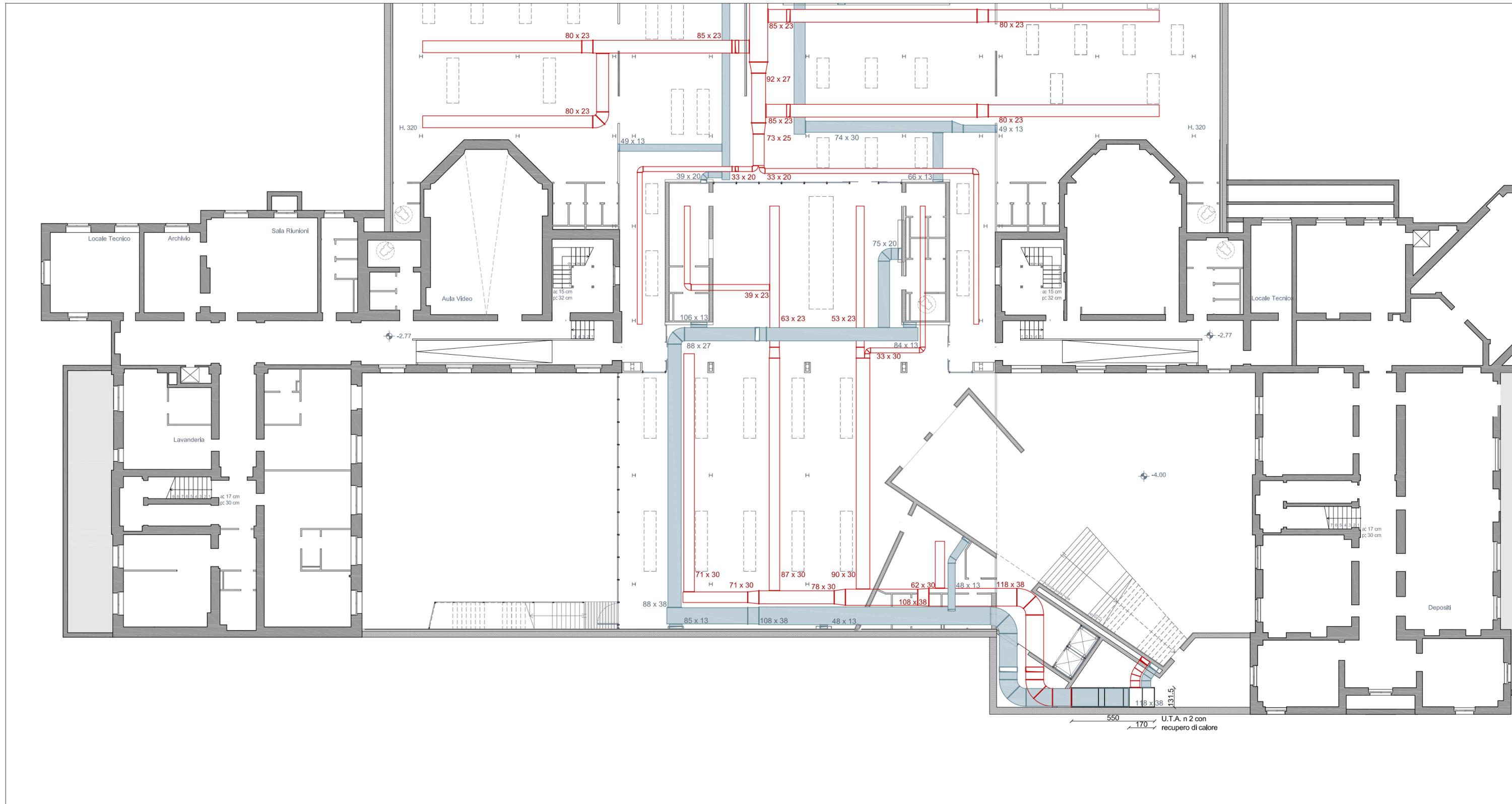
Tubi mandata/ripresa a sezione rettangolare con h. max 25 cm

- Mandata = a soffitto
- Ripresa = a parete



Elemento decorativo a losanghe con parte inferiore traforata per la ripresa dell'aria.



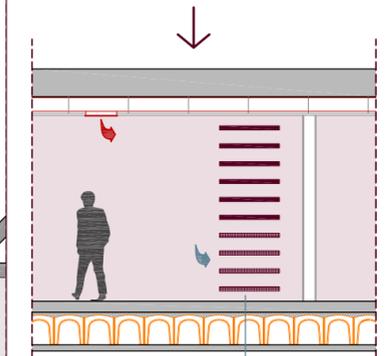


Tipologia di UTA: con recupero di calore tipo "Samp":

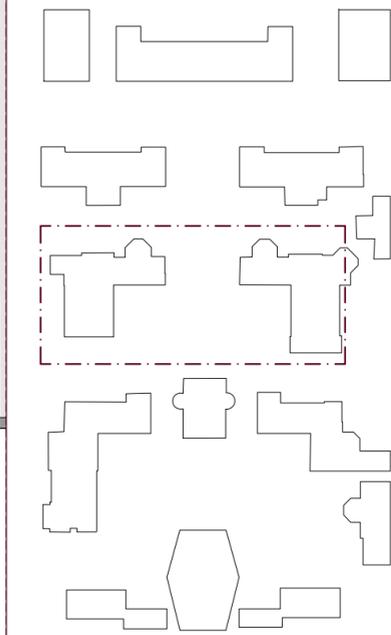
- portata max 6000 m³/h
- 505 x 131.5 x 80+80 cm

Tubi mandata/ripresa a sezione rettangolare con h. 25 cm

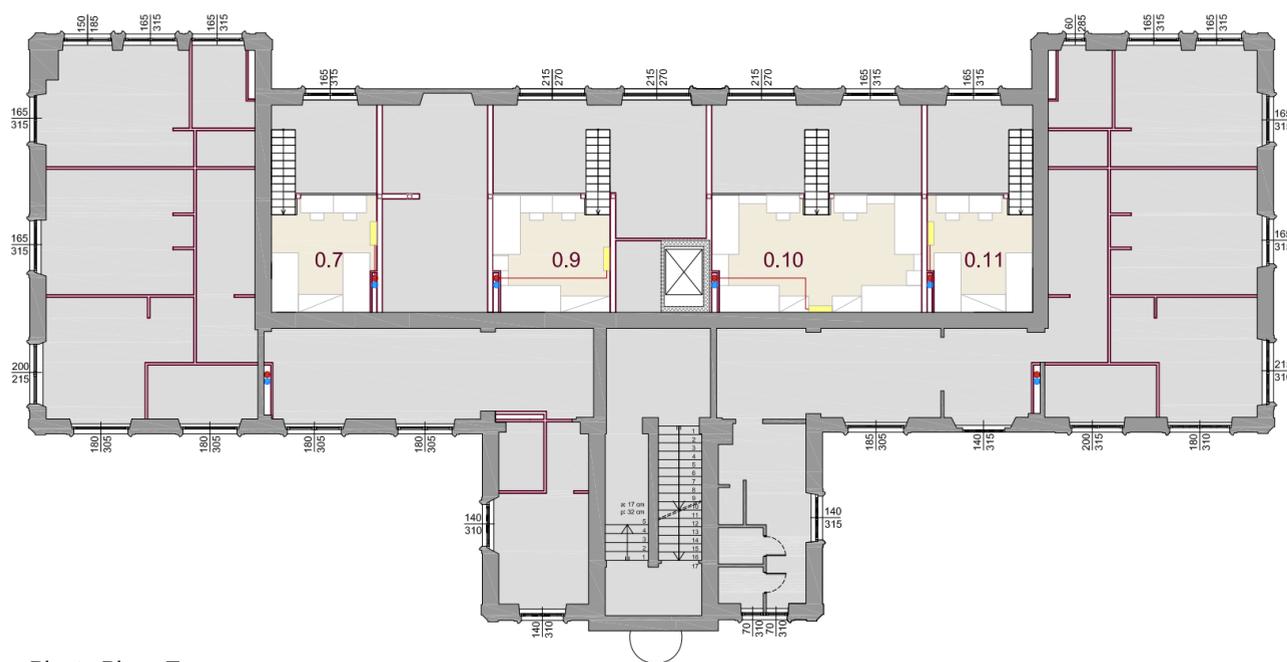
- Mandata = a soffitto
- Ripresa = a parete



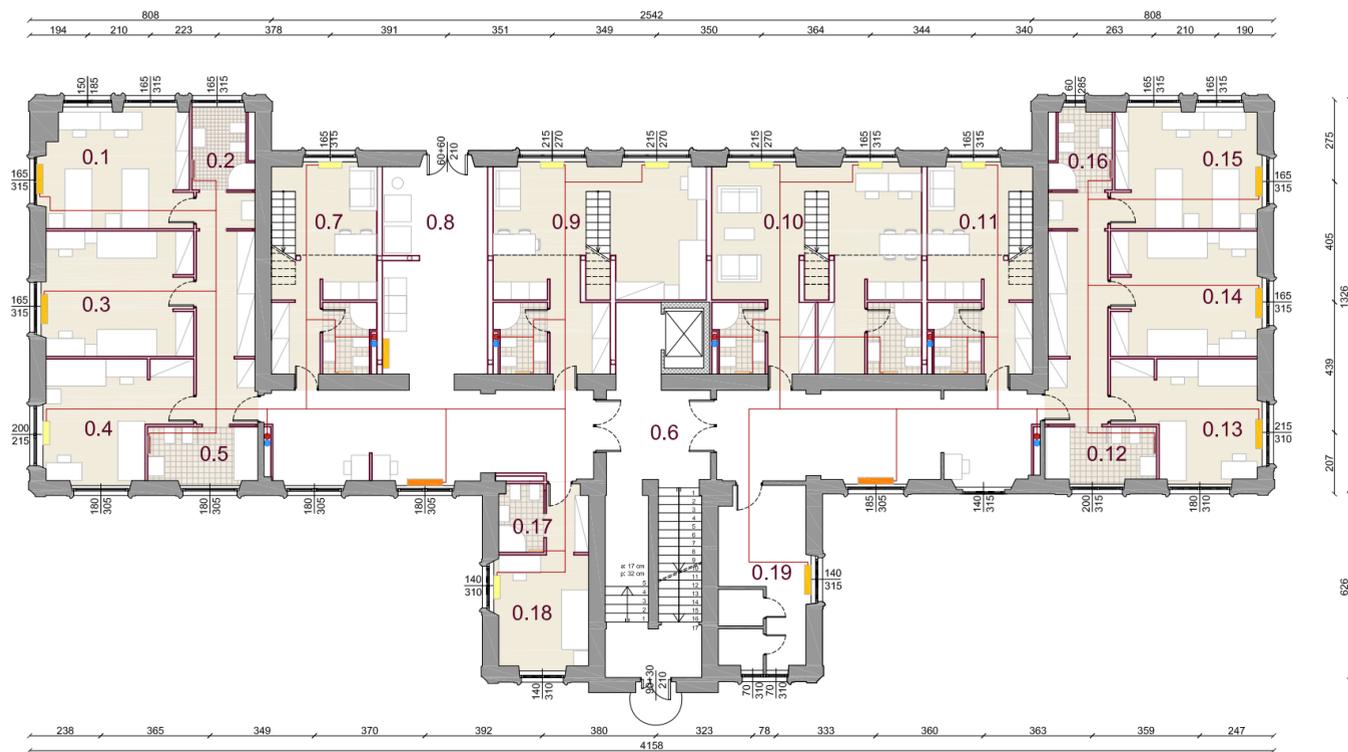
Elemento decorativo a losanghe con parte inferiore traforata per la ripresa dell'aria.



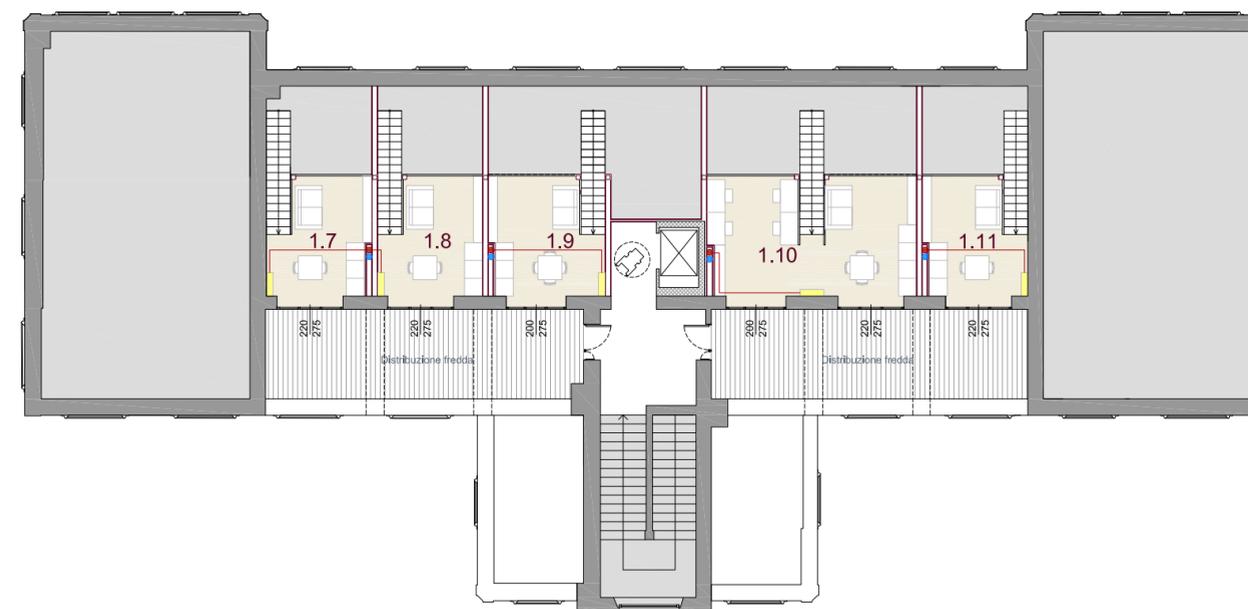
Pianta Soppalco Piano Terra



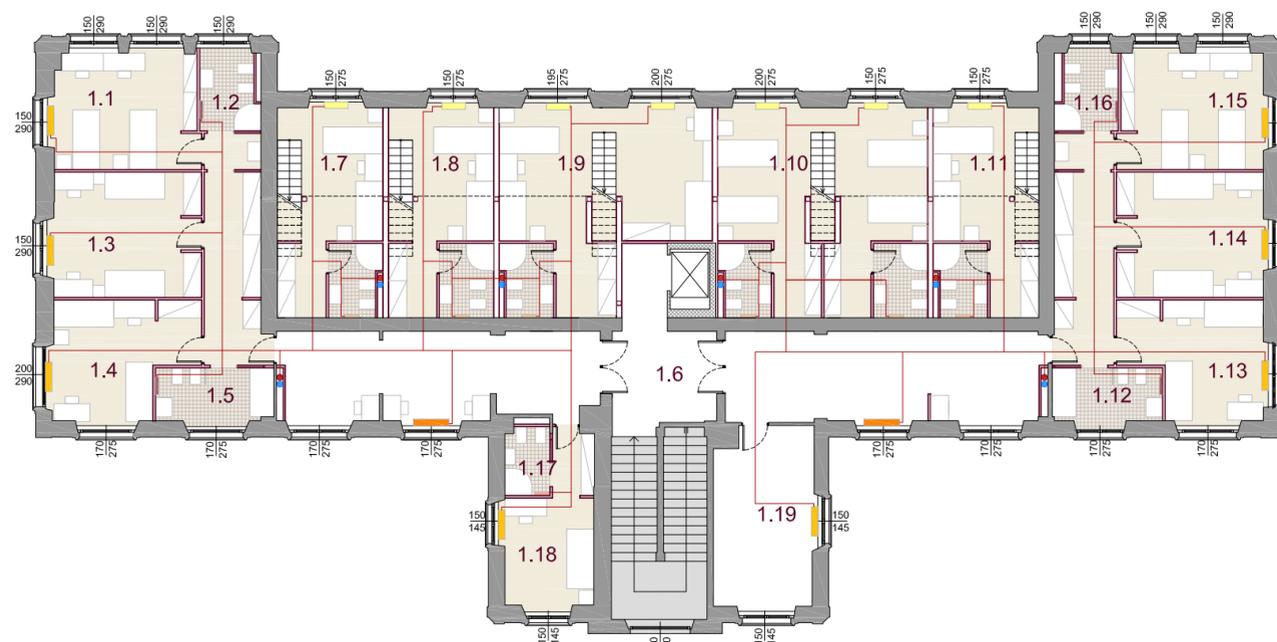
Pianta Piano Terra



Pianta Soppalco Piano Primo



Pianta Piano Primo



Piano Terra

| N° Locale | Qtot (trasm+venti) [w] | Corpo scaldante |
|-----------|------------------------|-------------------------|
| 0.1 | 2438,41 | RTM 22 |
| 0.2 | 823,04 | RSNC 180-060 |
| 0.3 | 2189,53 | RTM 22 |
| 0.4 | 1894,76 | RTM 15 |
| 0.5 | 962,94 | RSNC 180-060 |
| 0.6 | 8707,89 | 2 RTM 41 |
| 0.7 | 2742,38 | 2 RTM 15 (1zg + 1zn) |
| 0.8 | 2572,48 | RTM 22 |
| 0.9 | 4448,91 | 1 RTM15 zn + 2 RTM15 zg |
| 0.10 | 5114,04 | 1 RTM15 zn + 2 RTM15 zg |
| 0.11 | 2723,41 | 2 RTM 15 (1zg + 1zn) |
| 0.12 | 935,21 | RSNC 180-060 |
| 0.13 | 2162,47 | RTM 22 |
| 0.14 | 2171,32 | RTM 22 |
| 0.15 | 2464,21 | RTM 22 |
| 0.16 | 784,67 | RSNC 180-060 |
| 0.17 | 446,84 | RSNC 084-050 |
| 0.18 | 1776,43 | RTM 15 |
| 0.19 | 2701,14 | RTM 22 |

Piano Primo

| N° Locale | Qtot (trasm+venti) [w] | Corpo scaldante |
|-----------|------------------------|-------------------------|
| 1.1 | 2577,74 | RTM 22 |
| 1.2 | 849,30 | RSNC 180-060 |
| 1.3 | 2298,37 | RTM 22 |
| 1.4 | 2264,70 | RTM 22 |
| 1.5 | 776,07 | RSNC 180-060 |
| 1.6 | 9630,88 | 2 RTM 41 |
| 1.7 | 2290,69 | 2 RTM 15 (1zg + 1zn) |
| 1.8 | 3117,28 | 2 RTM 15 (1zg + 1zn) |
| 1.9 | 3759,52 | 1 RTM15 zn + 2 RTM15 zg |
| 1.10 | 4350,93 | 1 RTM15 zn + 2 RTM15 zg |
| 1.11 | 2276,21 | 2 RTM 15 (1zg + 1zn) |
| 1.12 | 747,62 | RSNC 180-060 |
| 1.13 | 2242,86 | RTM 22 |
| 1.14 | 2279,06 | RTM 22 |
| 1.15 | 2544,48 | RTM 22 |
| 1.16 | 874,17 | RSNC 180-060 |
| 1.17 | 485,17 | RSNC 116-060 |
| 1.18 | 1828,79 | RTM 22 |
| 1.19 | 2918,45 | RTM 22 |

Ventilconvettori

| Modello | Qtot [w] | Dimensioni (H-L-P) [mm] |
|---------|----------|-------------------------|
| RTM 15 | 2020 | 657-792-220 |
| RTM 22 | 3050 | 657-992-220 |
| RTM 41 | 5790 | 657-1192-220 |

Scaldasalviette

| Modello | Qtot [w] | Dimensioni (H-L-P) [mm] |
|-------------|----------|-------------------------|
| RSN 084-050 | 458 | 840-496-85 |
| RSN 116-060 | 569 | 1160-496-85 |
| RSN 180-060 | 1057 | 1800-596-85 |

alloggi in duplex: ripartizione fabbisogni sulla base di proporzioni volumetriche tra i due livelli



Il progetto illuminotecnico



17. La luce come elemento qualificante dello spazio

Fra le varie tematiche che nell'ambito della progettazione devono essere sviccerate e approfondite per la realizzazione di spazi che garantiscano una condizione globale di comfort, un ruolo non secondario è affidato allo studio delle caratteristiche illuminotecniche. Nel corso degli anni la cultura progettuale ha via via abbandonato la prassi del mero soddisfacimento dei rapporti aeroilluminanti, individuando parametri più stringenti e meglio rispondenti al rapporto qualità dell'ambiente e luce. Il locale deve essere illuminato quanto più possibile sfruttando la luce naturale del sole. Questo non solo nell'ottica di riduzione del consumo energetico, ma anche perché, come dimostrato da diversi studi di carattere psicologico, lo spettro del colore proprio della luce solare fa scattare a livello di ricezione neurale la produzione di ormoni che influiscono favorevolmente sull'umore dell'individuo, mentre, al contrario, la permanenza prolungata in ambienti con presenza continuativa di luce artificiale favorisce l'innescarsi di patologie depressive in soggetti sensibili (in riferimento anche a quanto scritto dal neurologo V. S. Ramachandran ne *La donna che morì dal ridere e altre storie incredibili sui misteri della mente umana*).

Il parametro che descrive in maniera più adeguata questa nuova sensibilità è il **fattore di luce diurna**: esso è stato introdotto per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato ed è attualmente riconosciuto dalla normativa italiana.

All'interno di un ambiente chiuso, l'illuminamento naturale nei diversi punti è costituito da tre componenti:

- l'apporto di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne (la volta celeste, il sole);
- l'apporto di luce dovuto alle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane esterne;
- l'apporto di luce dovuto alle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente.

Nella valutazione delle condizioni di illuminazione naturale interna si considera il caso più sfavorevole che si verifica in assenza di radiazione solare diretta, caratterizzata invece da una forte direzionalità in funzione della posizione del sole.

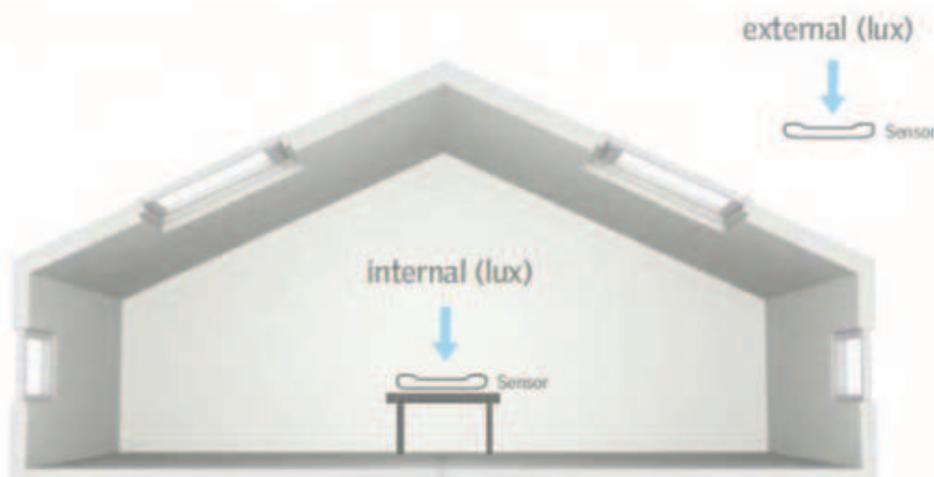


Fig. 17.1. - Fattore di luce diurna, rapporto tra un punto interno e uno esterno all'edificio che si trovano nelle medesime condizioni di illuminamento.



Posto il cielo coperto come condizione ottimale di valutazione, il rapporto tra illuminamento interno ed esterno deve essere costante e non deve dipendere né dall'ora del giorno, né dal periodo dell'anno, né dall'orientamento del locale: si introduce quindi il fattore di luce diurna [FLD], grandezza sintetica e adimensionale espressa in percentuale, definita come il rapporto fra l'illuminamento misurato in un punto specifico dell'ambiente interno e l'illuminamento misurato all'esterno su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzioni in condizioni di cielo coperto.

Per non basare il calcolo su un unico punto viene utilizzato il **fattore medio di luce diurna** [FLDm], dove per medio si intende mediato su più punti di misura dell'ambiente interno in rapporto con l'esterno: in questo modo è possibile valutare meglio l'illuminazione globale nel locale confinato.

I valori richiesti dalle normative possono variare in funzione delle varie destinazioni d'uso dei locali: vi sono tuttavia dei valori di soglia al di sotto dei quali non sono verificate le condizioni di illuminazione naturale sufficienti alle specifiche esigenze. Uno schema di valutazione indicativo può essere il seguente:

FLDm < 1% = insufficiente
1% < FLDm < 2% = discreto
2% < FLDm < 4% = buono
FLDm > 4% = ottimo

Rispettare il fattore medio di luce diurna significa distribuire correttamente le finestre e valutarne la capacità di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli nell'ambiente confinato¹.

17.1. Il quadro normativo

La normativa Italiana non esaurisce all'interno di un'unica norma le prescrizioni per la progettazione di ambienti con un adeguato comfort illuminotecnico. Nel caso specifico di progetto il problema si complica ulteriormente avendo insediato più funzioni facenti riferimento a settori di competenza diversi dal punto di vista anche dell'apparato legislativo. Si è quindi operato in parallelo partendo dall'analoga volontà di garantire condizioni ottimali sia per gli spazi propri della residenza sia per quelli a servizi, assimilabili per natura ai principali servizi di un istituto scolastico.

I documenti legislativi e tecnici che danno indicazioni sono i seguenti:

- *Circolare Ministero LL. PP. n. 3151 del 22/5/1967 – "Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione delle costruzioni edilizie", relativa all'edilizia civile sovvenzionata.*
- *Decreto del Ministero della Sanità del 5/7/1975 – "Modificazioni alle istruzioni ministeriali del 20/6/1896 relative all'altezza minima dei locali ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione".*

Tale Decreto prestabilisce i valori minimi raccomandati di illuminamento naturale all'interno degli ambienti:

Tutti i locali degli alloggi, eccetto quelli destinati a servizi igienici, disimpegno, corridoi, vani scala e ripostigli, debbono fruire di illuminazione naturale diretta, in quantità adeguata alla destinazione d'uso.

¹ F. PERON, A. VIVONA, *Illuminazione naturale e fattore di luce diurna*, Materiale didattico per il corso di Tecnica del Controllo Ambientale, Università IUAV di Venezia, a.a. 2010-2011.



Per ciascun locale d'abitazione, l'ampiezza della finestra deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore di fattore luce diurna medio non inferiore al 2%, e comunque la superficie finestrata apribile non dovrà essere inferiore a 1/8 della superficie del pavimento.

È evidente che tale standard minimo non possa sempre essere in grado di garantire un sufficiente illuminamento interno in considerazione dei numerosi fattori dai quali esso dipende (illuminamento sul baricentro della finestra, forma della finestra, forma del locale, caratteristiche dell'ambiente da illuminare).

- *Decreto del Ministero dei LL. PP. del 18/12/75 – “Norme tecniche aggiornate relative all’edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”.*

Il paragrafo 5.2 esplicita le condizioni dell’illuminazione e del colore:

L’illuminazione naturale e artificiale degli spazi e dei locali della scuola deve essere tale da assicurare agli alunni il massimo del comfort visivo; pertanto deve avere i seguenti requisiti:

- i) livello d’illuminazione adeguato;*
- ii) equilibrio delle luminanze;*
- iii) protezione dai fenomeni di abbagliamento;*
- iv) prevalenza della componente diretta su quella diffusa, soprattutto nel caso di illuminazione artificiale.*

I valori minimi dei livelli di illuminamento naturale ed artificiale sono esposti nella seguente tabella:

| superfici | lux |
|--|-----|
| Piano dei tavoli negli spazi per il disegno | 300 |
| Sulle lavagne e sui cartelloni | 300 |
| Sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori, negli uffici | 200 |
| Negli spazi per riunioni, per ginnastica, ecc. misurati su un piano ideale posto a 0,60 m dal pavimento | 100 |
| Nei corridoi, scale, servizi igienici, atri, spogliatoi, ecc. misurati su un piano ideale posto a 1,00 m dal pavimento | 100 |

Tab. 17.1. - Valori di illuminamento all’interno degli edifici scolastici.

- *UNI 10380*

All’interno della normativa UNI 10380, come si può osservare nella tabella riportata di seguito, sono indicati invece i livelli di illuminamento minimo, medio e massimo, obbligatori per le varie zone presenti all’interno dell’unità abitativa:

| Funzione | Tipo di ambiente | Illuminamento (lux) | | |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------|-------|---------|
| | | minimo | medio | massimo |
| Abitazioni e alberghi | Camera: illuminazione generale | 50 | 100 | 150 |
| | Zone di lettura | 200 | 300 | 500 |
| | Cucina | 200 | 300 | 500 |

Tab. 17.2. - Valori di illuminamento per edifici residenziali.



- Nuovo regolamento edilizio del Comune di Milano che all' art. 47 tratta i requisiti per un illuminazione naturale diretta:

L'illuminazione naturale diretta può essere del tipo perimetrale o zenitale o mista e, nei locali agibili, deve essere tale da garantire un fattore medio di luce diurna non inferiore a 0.018, misurato secondo le indicazioni dell'art. 69.2.

Tale requisito si considera soddisfatto quando la superficie finestrata sia pari ad almeno 1/10 della superficie di pavimento del locale interessato, nel caso di luce proveniente dalle pareti perimetrali esterne degli ambienti abitabili, quando la profondità del pavimento di ogni singolo ambiente non superi 2.5 volte l'altezza da terra del punto più elevato.

Per profondità maggiori che comunque non devono essere superiori a 3.5 volte l'altezza, l'area complessiva delle parti trasparenti misurate come sopra non deve essere inferiore a 1/8 dell'area del pavimento.

17.2. Procedura di verifica del livello di illuminazione naturale

Quando si parla d'illuminazione naturale, come sorgente luminosa primaria s'intende la **volta celeste** e non certo il sole, alle cui radiazioni dirette si cerca in genere di precludere l'accesso agli ambienti. Sebbene parlando d'illuminazione naturale venga spontaneo riferirsi al cielo sereno, molte ricerche condotte sulla disponibilità di luce naturale hanno preso in considerazione il cielo nella condizione di uniforme nuvolosità. Ciò per motivi prudenziali nella progettazione e per le agevolazioni di calcolo.

Il primo modello (il più semplice ed approssimato) prevede un cielo coperto (nuvoloso) con **luminanza uniforme**. Ovviamente, in realtà, la luminanza di un cielo coperto non è uniforme, per cui la CIE³ ha proposto e normalizzato un modello di cielo coperto a **luminanza non uniforme**, per quei climi nei quali questa condizione atmosferica può essere considerata preminente. Un presupposto interessante di questo modello è che la luminanza decresce dallo zenit all'orizzonte in modo tale che il primo risulta essere caratterizzato da una luminanza tre volte più elevata del secondo.

Il **modello di cielo sereno CIE** presenta una distribuzione di luminanza che dipende dalla posizione del sole senza considerare il disco solare. Si può accennare che secondo questo modello le porzioni di cielo sereno più prossime alla posizione del sole risultano caratterizzate da una luminanza fino a 40 volte superiore a quella delle porzioni più sfavorite (opposte).

Una notevole difficoltà connessa allo studio dell'illuminazione naturale degli ambienti deriva dal fatto che la sorgente primaria della luce diurna (volta celeste) è sempre caratterizzata da una grande variabilità temporale nell'arco della giornata: per cui, in genere, anziché valutare l'illuminazione naturale in un interno in termini assoluti (cioè mediante l'illuminamento che si verifica in un particolare punto) si preferisce servirsi di un criterio relativo, e cioè determinare per quel punto il rapporto esistente tra gli illuminamenti che nello stesso istante si verificano all'interno ed all'esterno dell'ambiente.

Questo rapporto, detto **fattore di luce diurna** η , viene definito più precisamente come il rapporto tra l'illuminamento E che si verifica in un punto dell'ambiente e l'illuminamento E_e che, nello stesso istante, assumerebbe una superficie orizzontale posta all'esterno, schermata dall'irraggiamento solare diretto ed esposta alla luce proveniente dall'intera (non ostruita) volta celeste.

² Cfr. Capo 12.6.2.

³ International Commission on Illumination



Risulta quindi:

$$\eta = E / E_e$$

Il fattore di luce diurna η viene spesso espresso in unità percentuali. Esso può essere facilmente misurato con un luxmetro in ogni punto del piano di lavoro di un ambiente. A questo fine occorre misurare l'illuminamento E del punto e , contemporaneamente, anche l'illuminamento esterno E_e .

Il FLD risulta funzione delle seguenti grandezze:

- area delle aperture finestrate;
- coefficiente di trasmissione nel visibile del materiale trasparente che costituisce le finestre;
- area dei diversi elementi che costituiscono l'involucro e che sono presenti all'interno del locale (pareti, pavimenti, soffitti, arredi, ecc.);
- coefficiente di riflessione nel visibile delle superfici dei vari elementi presenti all'interno del locale;
- presenza di ostruzioni di qualsiasi genere, esterne od interne, che limitino la vista della volta celeste;
- stato di manutenzione delle superfici vetrate e delle superfici interne.

Per valutare con buona accuratezza il fattore di luce diurna nei diversi punti del piano di lavoro di un ambiente munito di finestre, occorre procedere sempre ad un'analisi dettagliata del problema, spesso molto laboriosa e complessa per cui è sempre importante introdurre ipotesi semplificative adeguate alla precisione che si desidera ottenere nel calcolo.

In generale, l'**illuminamento esterno**, dovuto all'intera volta celeste, E_e può essere ricondotto ad una situazione già nota (calcolo dell'illuminamento in un punto dovuto ad una sorgente estesa) se si suppone che la volta celeste corrisponda ad un'intera calotta sferica luminosa caratterizzata da luminanza L_c costante. Adottando questa semplificazione, spesso sufficientemente adeguata a molti casi di pratico interesse, si può scrivere:

$$E_e = \pi * L_c$$

L'**illuminamento E** in un punto dell'ambiente risulta di complessa valutazione principalmente a causa della grande varietà di situazioni che possono presentarsi: esso, infatti, è pari alla somma dei seguenti contributi:

$E_{dc'}$, dovuto alla luce che raggiunge il punto direttamente dalla porzione di cielo vista attraverso la finestra dal punto stesso;

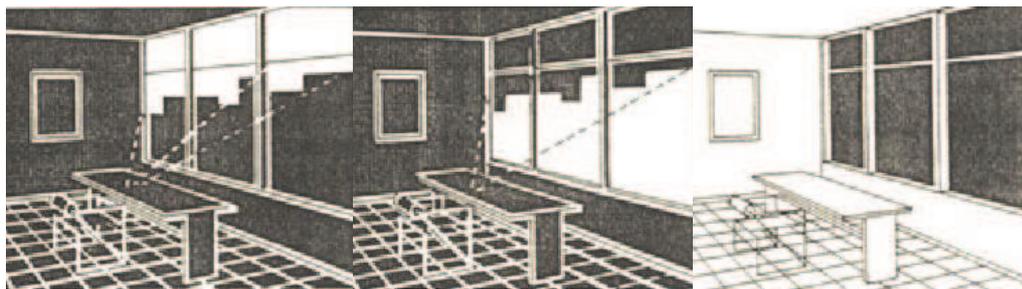
$E_{re'}$, dovuto alla luce che arriva nel punto in esame proveniente per riflessione da oggetti posti all'esterno del locale (ad esempio le pareti di un edificio, alberi, ecc);

$E_{ri'}$, dovuto a quella parte di luce che giunge nel punto in conseguenza delle riflessioni multiple che si sono verificate all'interno dell'ambiente.

Nelle tre figure seguenti le superfici luminose responsabili dei tre diversi contributi sono evidenziate in chiaro:



Fig. 17.2. - Contributi
 E_{dc} E_{re} E_{rt}



La determinazione del fattore di luce diurna risulta quindi più o meno approssimata a seconda delle ipotesi scelte nell'impostazione del calcolo. Vi è una notevole disuniformità di tale fattore nel caso di un locale munito di un'unica finestra.

Se gli ambienti non sono destinati a particolari impegni visivi, può risultare sufficiente determinare il fattore **medio** di luce diurna, anche se le finestre sono disposte su un solo lato⁴.

17.3. Controllo solare: composizione e tecnologia

Le strategie per un impiego razionale della luce naturale e le strategie progettuali architettoniche sono inseparabili. Progettare con (e per) la luce naturale significa realizzare un'integrazione multidisciplinare tra differenti tecniche e metodologie di progetto: dalla pianificazione urbana alla progettazione degli interni, l'intero processo progettuale degli edifici e tutti gli attori della progettazione devono essere coinvolti. Solo in questo modo è possibile ottenere un'ottimizzazione di tutti gli aspetti isolati per una progettazione integrata e consapevole, cioè l'ottimizzazione del sistema edificio. Un non efficiente coordinamento e integrazione tra le metodologie e le scelte della progettazione possono portare alla realizzazione di ambienti scadenti dal punto di vista della qualità dell'ambiente visivo e conseguentemente non confortevoli, anche in presenza di tecnologie e sistemi di luce naturale innovativi ed evoluti.

La progettazione con la luce naturale persegue diversi obiettivi, in funzione della fase progettuale⁵:

- **Fase concettuale di progettazione:** durante la creazione dello schema dell'edificio, la progettazione della luce naturale influenza e/o viene influenzata dalle decisioni fondamentali sulla forma dell'edificio, sulle dimensioni (proporzioni), e sulle aperture, e sul grado di integrazione e sul ruolo che gli impianti devono avere nell'edificio.
- **Fase progettuale:** durante la fase di progettazione vera e propria, le strategie relative all'impiego della luce naturale devono essere sviluppate per ciascuna zona dell'edificio. La progettazione delle facciate e delle finiture interne, la scelta e il grado di integrazione di sistemi e servizi (compreso l'impianto di illuminazione artificiale) devono essere tutti aspetti connessi con la progettazione della luce naturale.
- **Progetto esecutivo:** la scelta dei materiali e dei prodotti dipende dalla strategia di luce naturale adottata per l'edificio, e i dettagli finali del progetto di luce naturale devono essere definiti assieme al progetto esecutivo;
- **Realizzazione e Vita dell'edificio:** terminata la realizzazione dell'edificio, i sistemi di regolazione e controllo della luce devono essere calibrati, e successivamente inizia la fase di manutenzione dei sistemi.

⁴ *Illuminazione naturale*, dispensa del corso di Fisica Tecnica della facoltà di Architettura dell'Università di Genova.

⁵ F. GUGLIERMETTI, F. BISEGNA, L. MONTI, *Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale*, Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università la Sapienza di Roma, 2010.



L'intero processo progettuale può essere suddiviso in 9 passi fondamentali, come mostrato in figura.

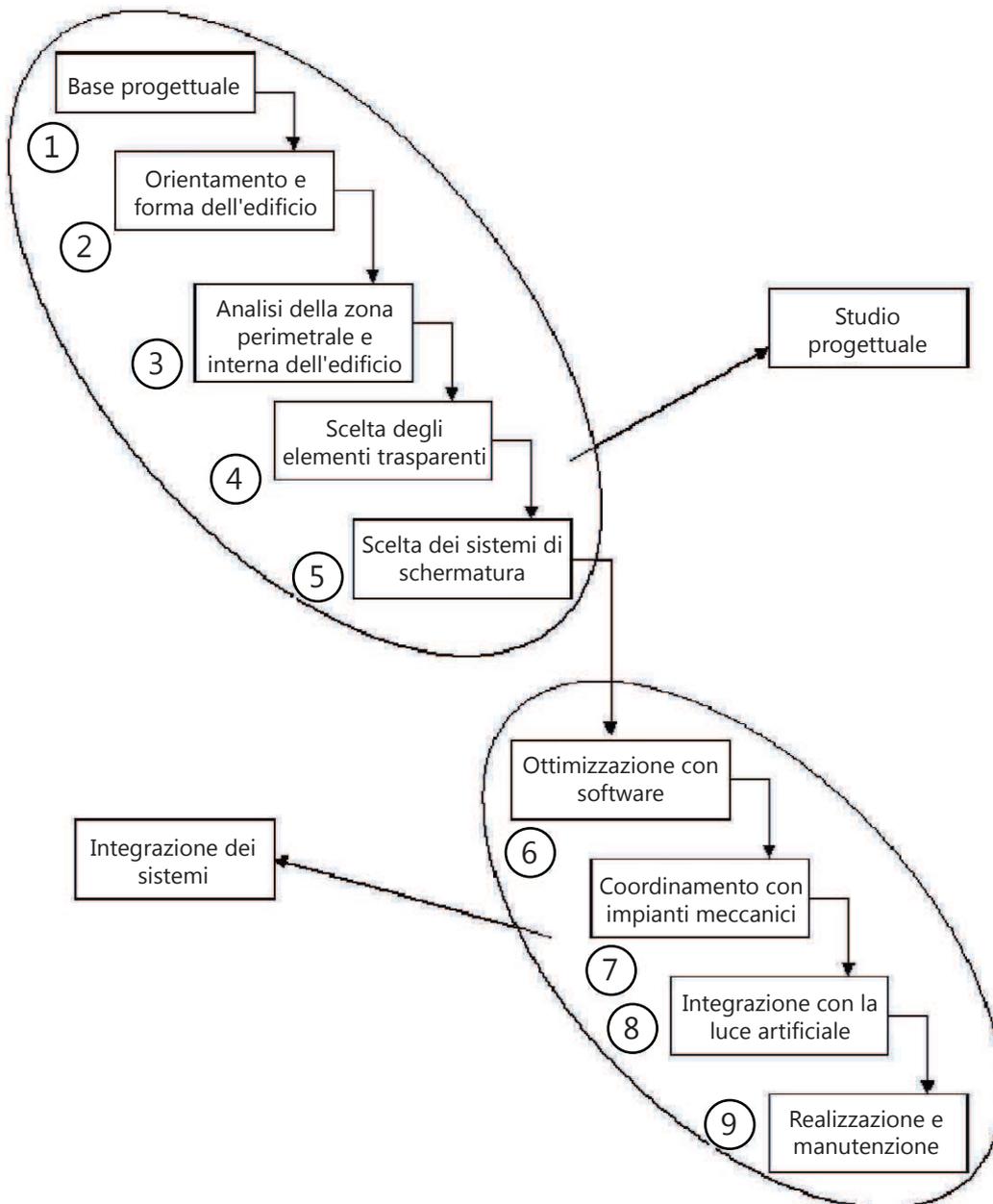


Fig. 17.3. - Schema progettuale per il controllo dell'illuminazione naturale.

Nel caso in esame saranno di fondamentale importanza i punti 4 e 5, poichè riguardano gli unici parametri di studio progettuale sul quale è possibile intervenire, trattandosi di un recupero di edifici esistenti, con la loro forma, perimetro e spazi interni ben definiti.



17.4 Simulazioni per la verifica del fattore di luce diurna

Il tema del controllo della luce è stato declinato in modi diversi all'interno del progetto, sulla base della compresenza di organismi edilizi preesistenti, sottoposti a specifici vincoli di natura architettonica, e spazi realizzati ex-novo. Negli edifici propri dell'odierna Facoltà di Veterinaria non si possono prevedere interventi che comportino modifiche ai prospetti per specifico vincolo apposto dalla Soprintendenza ai Beni architettonici e Culturali. Essi sono caratterizzati da aperture finestrate ampie e con altezza nell'ordine dei 3.00 m. Tali proporzioni risultano favorevoli per avere una sufficiente illuminazione anche degli spazi più interni degli alloggi, i quali, nel rispetto delle caratteristiche tipologiche e strutturali degli edifici, risultano avere profondità media di circa 7 metri. A livello compositivo i servizi di ogni singola unità si attestano lungo il corridoio distributivo interno, mentre gli spazi propri dell'abitare vengono mantenuti lungo il fronte che comunica direttamente con l'esterno. I punti di maggiore criticità si sono evidenziati nel caso degli alloggi con distribuzione in duplex del primo piano, per i quali si prevede che la zona giorno si collochi al piano soppalcato e la zona notte all'impalcato sottostante. Quest'ultima è quindi direttamente in rapporto con le finestre esistenti, che mancando di elementi di oscuramento esterni e, per le loro dimensioni, fanno entrare una quantità di luce ben superiore a quella richiesta. Unici parametri di intervento sono stati i sistemi di oscuramento interno (tende avvolgibili)⁶ e le caratteristiche intrinseche delle superfici vetrate, anche sulla base delle indicazioni operative fornite dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile riportate in seguito:

Obiettivo:

- Scegliere i materiali trasparenti per massimizzare l'immissione di luce naturale e il benessere degli occupanti minimizzando il consumo di energia, nel rispetto delle scelte architettoniche

Idee chiave (tecnologia dei materiali trasparenti):

- Esaminare tutte le proprietà del materiale trasparente, prima di effettuare la scelta; coefficiente di trasmissione nel visibile, coefficiente di riflessione nel visibile, Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) o Shading Coefficient (SC), trasmittanza termica, coefficiente di trasmissione nell'ultravioletto, selettività spettrale, colore, aspetti acustici

Idee chiave (procedura di selezione):

- Bilanciare tra le esigenze di controllo dell'abbagliamento e immissione di luce naturale
- Vetri di dimensioni maggiori richiedono una qualità del vetro maggiore;
- Un vetro scuro non necessariamente ha un ottimo controllo solare
- Non affidarsi al solo vetro per il controllo solare; prevedere (sezione successiva) elementi schermanti;
- Scegliere il vetro in funzione di facciata e orientamento
- Vetri troppo scuri non favoriscono la progettazione con la luce naturale
- Analizzare gli aspetti strutturali del vetro
- Considerare la possibilità d'impiego, laddove possibile, di telai non metallici
- Per edifici storici: la scelta del vetro in sede di ristrutturazione deve essere tale da non alterare la facciata storica dell'edificio.

⁶ Elemento non computato a livello di calcolo.



Grazie alle simulazioni con software *Velux Daylight* si è valutato, in primo luogo, la variazione della luminanza nelle diverse zone dell'alloggio duplex all'ultimo piano, assumendo un valore costante di trasmittanza luminosa pari al 78% per i vetri delle nuove aperture, poste in copertura, e contemplando per le finestre esistenti tre differenti valori (78%, 68% e 42%). La scelta è quindi ricaduta su vetri a bassa trasmittanza per l'esistente, così da abbassare la luminanza della zona notte, mantenendo al contempo una buona illuminazione dei soggiorni. Definito univocamente questo importante parametro del modello si è completata l'analisi, così da conoscere anche l'illuminanza e il FLD e verificarne la rispondenza con quanto previsto dalla normativa italiana.



Fig. 17.4. - Esempio di simulazione col software *Velux*: alloggio duplex. (Cfr. Tav. 117)

Nel caso degli spazi ipogei di nuova realizzazione, il procedimento ha avuto delle caratteristiche rivolte alla sinergia tra qualità dell'illuminazione, composizione e struttura. L'illuminazione con luce naturale è stata affidata principalmente alle aperture zenitali poste in copertura, aperture che al contempo denunciano all'esterno la presenza dello spazio sottostante. La luce zenitale riduce la formazione di coni d'ombra interni e scongiura fenomeni di abbagliamento, che risulterebbero particolarmente fastidiosi in locali destinati ad accogliere gli spazi per lo studio. Il rapporto tra il dentro e il fuori è stato un importante fattore di scelta nella fase di modellazione, che si è attenuta alle seguenti linee guida:

Obiettivo:

- *Definire facciate, finestre e interni, per massimizzare l'immissione di luce naturale e il benessere degli occupanti, e minimizzare abbagliamento e discomfort termico*

Idee chiave (facciate e finestre):

- *Scegliere con cura il tipo di strategia di illuminazione (laterale, bilaterale, zenitale, dall'interno, laterale e zenitale...) da prevedere per l'edificio;*
- *Dimensionare attentamente la superficie trasparente e scegliere il materiale trasparente contemporaneamente, in quanto parametri con controllo inverso sulla luce entrante; un valore di apertura effettiva (pari al prodotto del rapporto finestra/parete per il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro) di 0.3 può essere preso come valore di riferimento; non sovradimensionare le aperture*
- *Mantenere le zone di lavoro lontane dalle grandi superfici vetrate (discomfort termico);*
- *Separare le zone trasparenti progettate per l'immissione di luce da quelle progettate per consentire un contatto con l'esterno;*
- *Usare per le pareti tinte chiare ed elevati coefficienti di riflessione per facilitare la diffusione della luce*
- *Sistemare le finestre vicino alle pareti della stanza per facilitare la distribuzione*



IL PROGETTO ILLUMINOTECNICO

della luce per riflessione delle pareti stesse

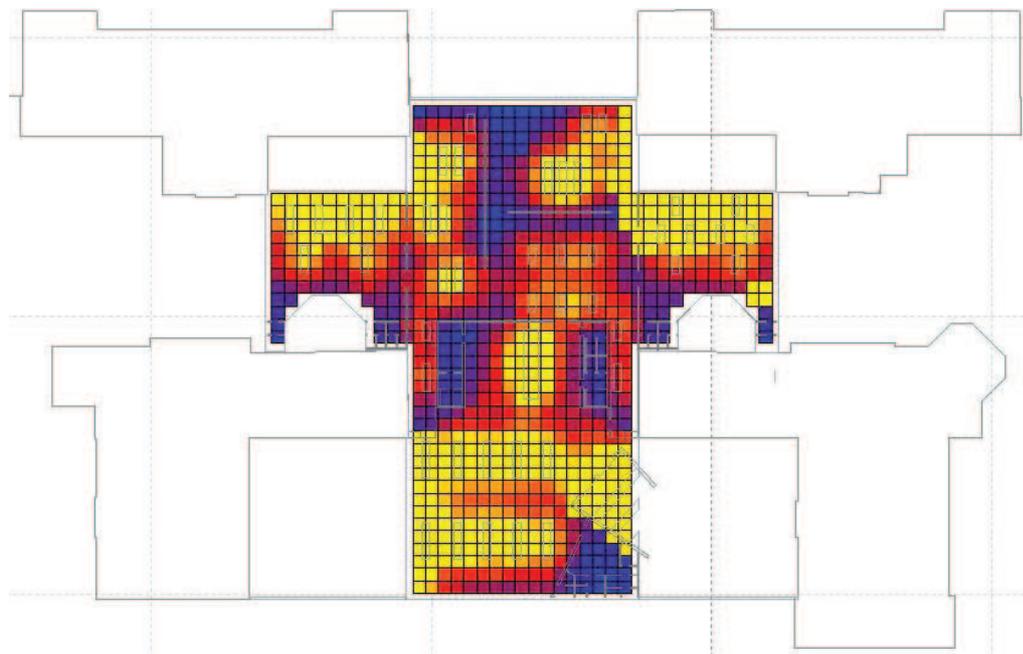
- Non utilizzare superfici vetrate laddove non possono essere sfruttate al meglio
- Evitare, laddove non ci siano problemi di tipo termico, finestre troppo scure: diminuiscono la quantità di luce entrante e alterano la qualità della luce
- Progettare il controllo della luce per consentire efficienza energetica

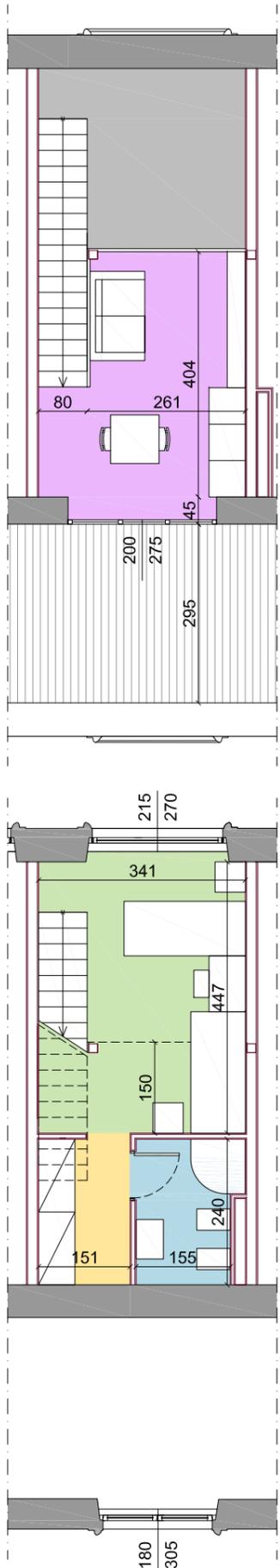
Idee chiave (pianificazione degli spazi):

- Sistemare le attività in funzione delle richieste visive, sia in termini di ambienti all'interno dell'edificio, sia in termini di attività all'interno dello stesso ambiente;
- Sistemare le attività in funzione delle richieste di comfort
- Avere cura delle zone di accesso della luce
- Utilizzare materiali con elevati coefficienti di trasmissione luminosa per creare zone di divisione

Per un maggior controllo qualitativo della soluzione scelta, oltre alla simulazione del FLD ottenuta con il software *Velux Daylight*, si è operata una seconda simulazione con *Ecotect Analysis*. Entrambe le simulazioni fanno riferimento alla condizione peggiore tra quelle prevedibili nell'arco dell'anno (cielo coperto alla data del 21 dicembre). Dai risultati ottenuti si evince come le aperture in progetto garantiscano un buon livello di illuminamento nella quasi totalità dello spazio, riducendo al minimo la necessità di utilizzo di fonti di luce artificiale durante l'orario diurno.

Fig. 17.5. - Esempio di simulazione col software *Ecotect*: spazio ipogeo. (Cfr. Tav. 118)





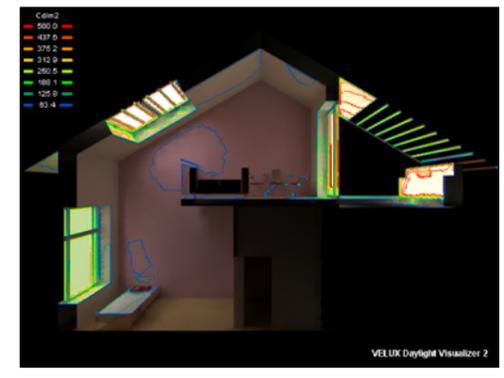
INPUT

- RAI 1/10 come previsto per locali con profondità inferiore a 2,5 h max
(Reg Edilizio Comune Milano Art 47)
- FLD 300 per zona giorno alloggio (UNI 10380)
- FLD 100 zona notte alloggio (UNI 10380)
- Facciate esistenti vincolate, con assenza di elementi oscuranti esterni

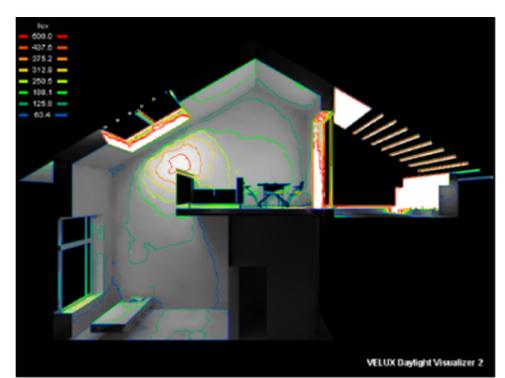
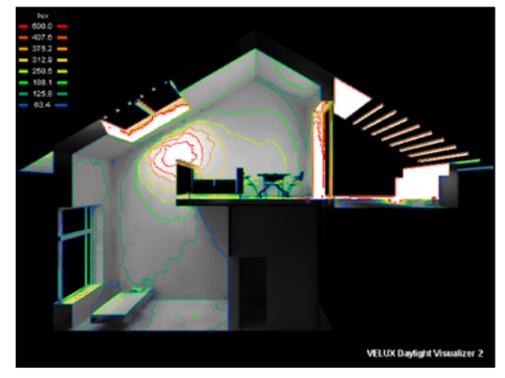
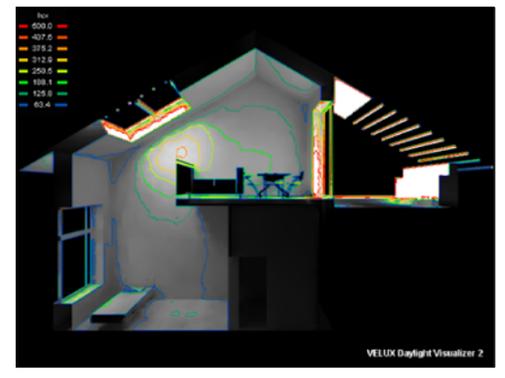
OUTPUT

- A seguito di varie simulazioni scelta di vetro con 42% trasmittanza luminosa per le finestre esistenti metre per aperture ex-novo trasmittanza 78%.
- Si prevede l'istallazione di sistemi oscuranti interni, non però tenuti in conto nelle simulazioni.

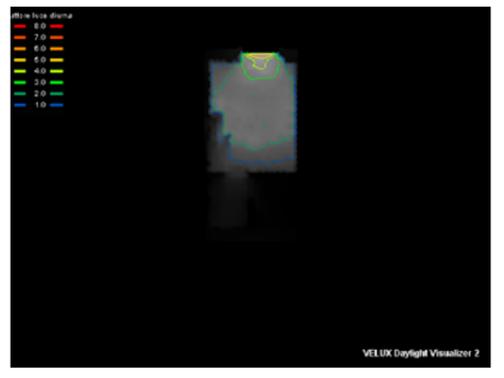
LUMINANZA_78%_21 Giugno



ILLUMINANZA_21 Marzo



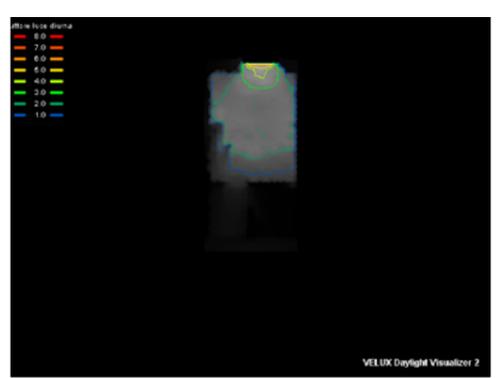
FLD_Zona Notte_21 Marzo



FLD_Zona Notte_21 Giugno



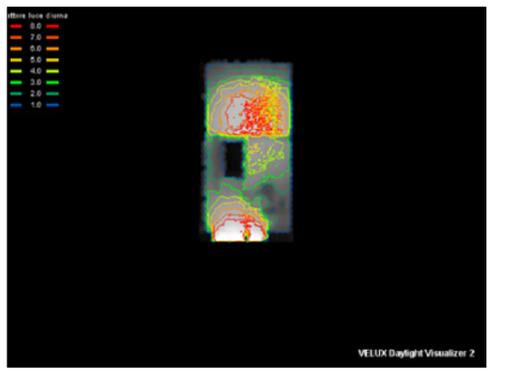
FLD_Zona Notte_21 Settembre



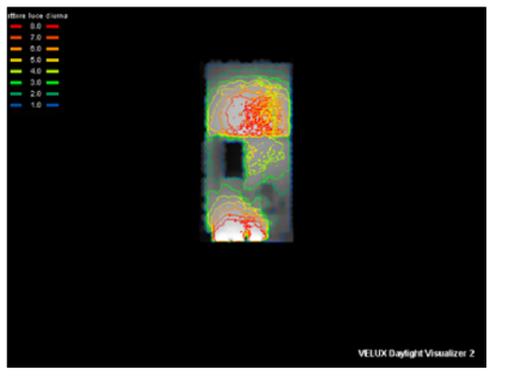
FLD_Zona Notte_21 Dicembre



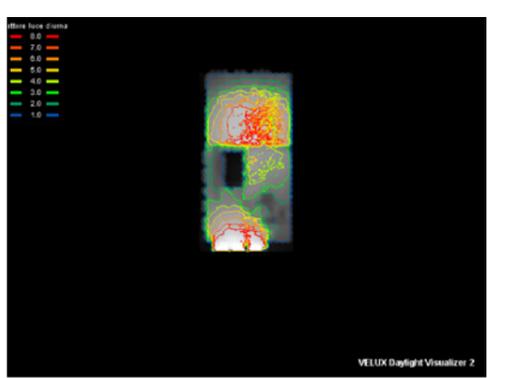
FLD_Zona Giorno_21 Marzo



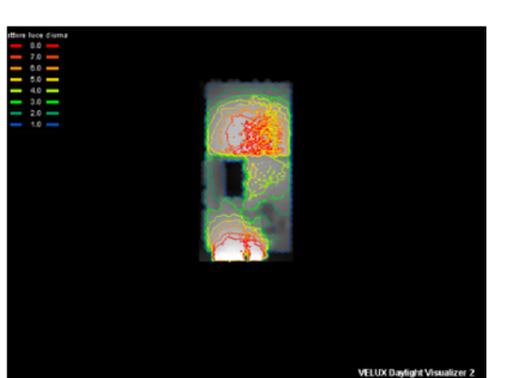
FLD_Zona Giorno_21 Giugno

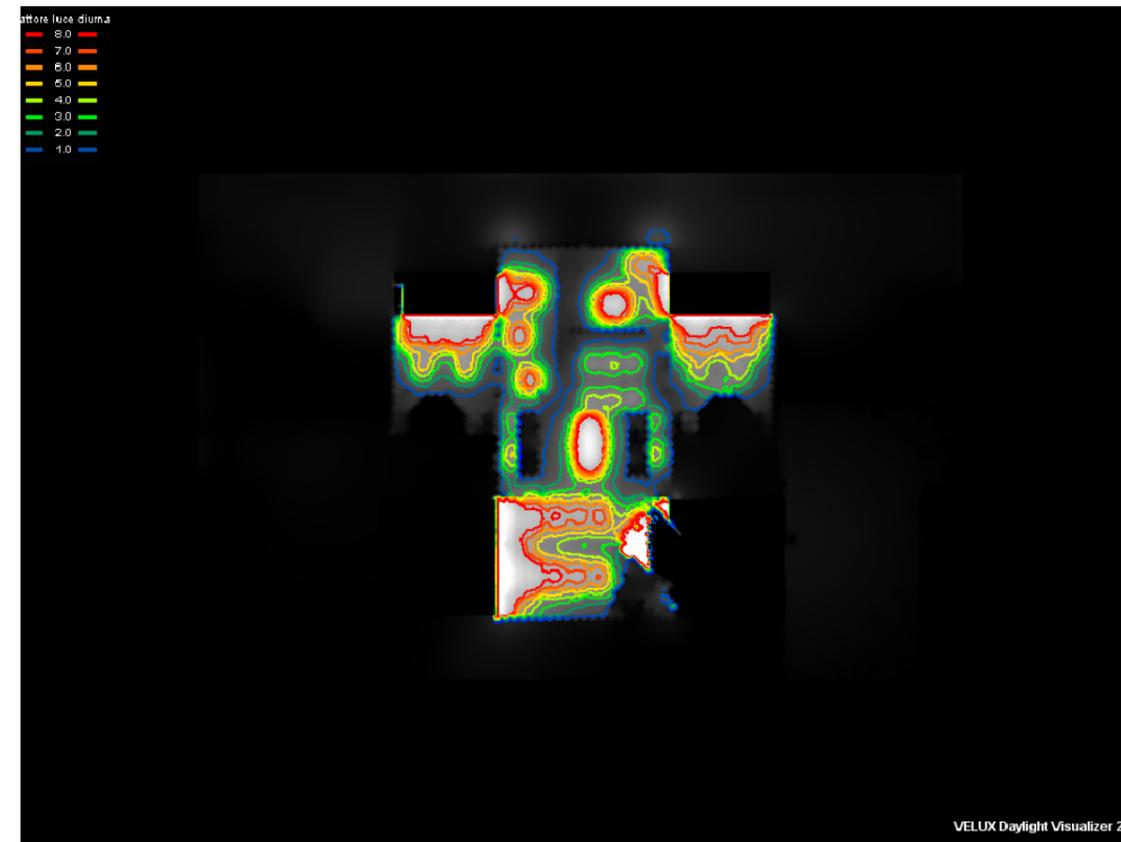
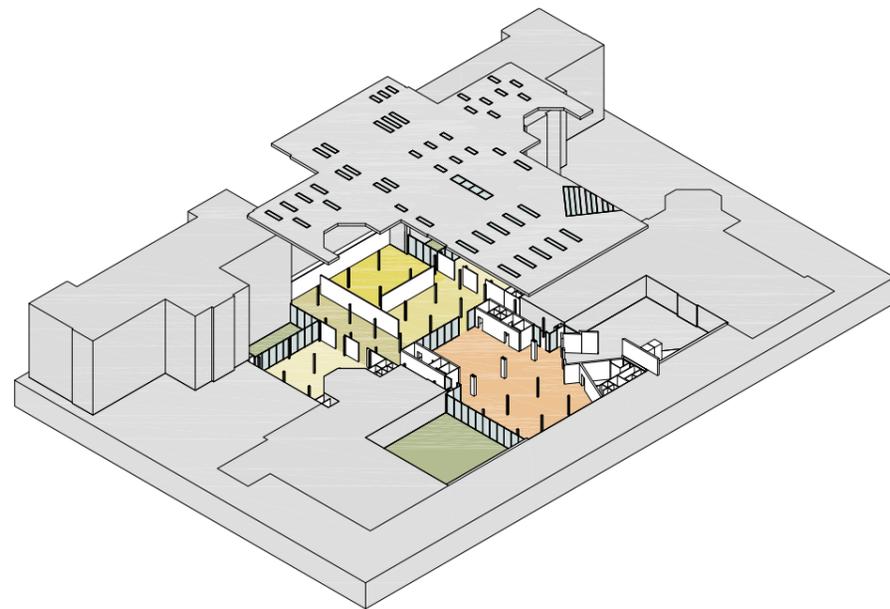


FLD_Zona Giorno_21 Settembre



FLD_Zona Giorno_21 Dicembre





Software Velux DayLight Visualizer 2

La simulazione è stata eseguita considerando la condizione maggiormente sfavorevole tra quelle che si prevedono possano manifestarsi durante l'anno (21 dicembre ore 12.00). Il software non tiene in considerazione nella computazione del FLD del possibile inserimento di elementi oscuranti interni. Si prevede infatti, nelle zone con possibili fenomeni di abbagliamento, l'istallazione di tende a rullo:

modello: Pellini Motore 24V
 tendaggio: VEROSOL® ORIGINALS
 trasmissione luminosa percentuale del 4%
 riflessione solare 68%
 ignifugo

INPUT_OUTPUT

INPUT

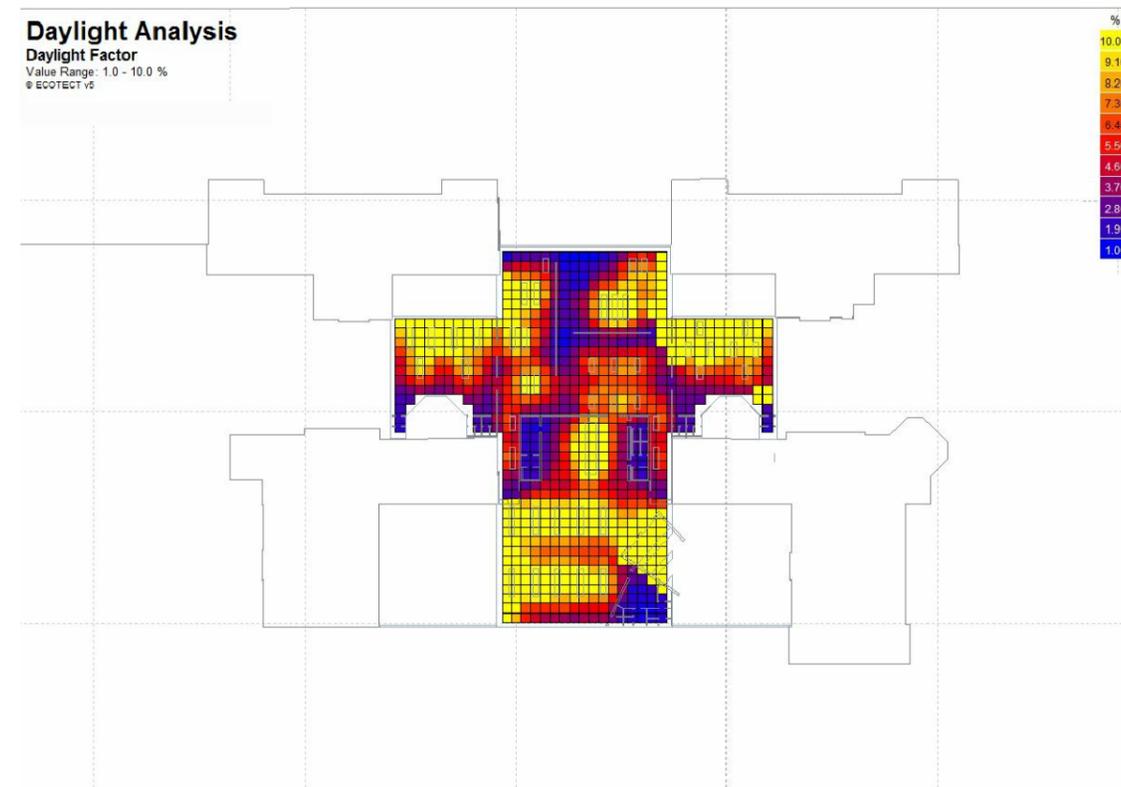
Provenienza della luce dalle pareti finestrate poste lungo i cavedi e dalle aperture zenitali presenti nella pavimentazione del piano di calpestio della piazza soprastante, per la corretta collocazione di queste ultime si sono considerati in contemporanea 3 fattori:

- raggiungimento di livelli soddisfacenti di FDL negli spazi ipogei che per funzione prevedono una presenza continuativa di persone nell'arco della giornata,
- disposizione dei punti di afflusso di luce naturali tale da ridurre al minimo l'utilizzo di fonti di luce artificiale nelle ore diurne della giornata, con conseguente risparmio energetico complessivo nella gestione della struttura,
- rispetto delle indicazioni normative che prevedono per le aree con presenza attiva di persone di un valore minimo di FLD pari al 3%,
- coerenza e integrazione tra il sistema di presa di luce zenitale, la definizione architettonica dello spazio aperto soprastante e il sistema strutturale dell'ipogeo

OUTPUT

Considerazioni:

- necessità di elementi interni di oscuramento in corrispondenza delle pareti finestrate che si affacciano sui cavedi laterali, per impedire fastidiosi fenomeni di abbagliamento, in particolare per i due spazi destinati ad ospitare le aule studio.
- collocazione dei vani tecnici e degli spazi di servizio nelle aree con livelli di illuminazione naturale minore



Software Ecotect Analysis 2011

Simulazione comparativa che assume le medesime condizioni di calcolo (21 dicembre ore 12.00). Anche in questo caso risulta evidente come i maggiori livelli di FLD si riscontrino nelle aree adiacenti alle pareti finestrate poste lungo i cavedi, mentre le aree con valori inferiori al 3% sono quelle che funzionalmente corrispondono, nella quasi totalità dei casi, con le aree di servizio o di semplice percorrenza come i corridoi distributivi, dove la normativa prevede sia necessario un valore di illuminamento pari 100 lux.

Conclusioni



La proposta progettuale nel suo complesso, tenta di dare forma alla moderna esigenza di integrazione tra *città* e *università*. Un'università che si lega sempre di più al resto del tessuto urbano, diventandone parte attiva, migliorata da una più ampia offerta di servizi e da una maggiore qualità di vita sia per gli studenti che la frequentano sia – più in generale - per tutti gli abitanti del quartiere.

Nuovi spazi per la residenza universitaria che, sebbene non abbiano la velleità di colmare in toto l'alta richiesta attuale, propongono un modo innovativo di vivere il rapporto università-alloggio. Non più due ambiti spazialmente e funzionalmente separati, ma due continui comunicanti. La vita di relazione intessuta in Ateneo non si perde appena fuori dalle sue mura, ma può essere coltivata anche nello spazio dell'abitare.

Un quartiere che, partendo dalla sua nota vocazione avanguardistica nel campo del sapere, si propone come un precursore che mostra un nuovo modo di riappropriarsi della città. Innovazione tecnologica, sensibilità ambientale ed energetica saranno il bagaglio per i cittadini del domani. Il progettista è il primo attore che fa sue queste tematiche e, con indirizzi di intenti e concretizzazioni architettoniche, entra nel dibattito sulla *Città Sostenibile*, proponendone la sua personale declinazione.

Il delicato tema del recupero architettonico diventa il filo conduttore dell'intervento e diviene capace di valorizzare e dare vita nuova ai manufatti dell'area di Veterinaria.

Metaprogettazione-integrata che coniuga fin dal principio tutte le principali tematiche costruttive per non essere snaturata ex-post in fase realizzativa, perché l'effettiva fattibilità di un progetto viene costruita già nel momento della sua ideazione.

Il progetto non si ritiene conclusivo rispetto al tema della sostenibilità, ma nella coscienza dei suoi limiti intrinseci pone le basi per un domani in divenire.





Bibliografia

Bibliografia

- ARIZZA F., FUMAROLA M. e ROSA S. (relatore MALIGHETTI L. E.) *Un'integrazione sostenibile. La rinascita dell'area ex-Plasmon a Milano*, Lecco, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, a.a. 2010/11
- BALDUCCI A., COGNETTI F. e 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. e MENNELLA R., *Il Campus Universitario di Chieti*, Electa, Milano, 1997.
- BARILLI F. M. e 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.
- BORIANI M., ROSSARI A. e 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.
- CAMPANELLA C., *Capitolato speciale di appalto per opere di conservazione e restauro*, Il Sole 24 ore, 1997.
- CANELLA G. e D'ANGIOLINI L. S., *Università ragione contesto tipo*, Dedalo, Bari 1975.
- FORMENTI C. e CORTELLETTI R., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano, 1895.
- GUIDARINI S., *Il mutevole concetto di tipo: studi sulla tipologia edilizia, l'architettura, la città*, Milano, Libreria Clup, 2003.
- GUGLIERMETTI F., BISEGNA L. e MONTI F., *Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale*, Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università la Sapienza di Roma, 2010.
- 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.
- MALIGHETTI L. E., *Progettare la flessibilità – Tipologie e tecnologie per la residenza*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 2000.
- MAMBRIANI A. (a cura di), *Università città piano*, Roma, Gangemi Editore, 1999.
- MORANDI C., *Milano: la grande trasformazione urbana*, Venezia, Marsilio, 2005.
- PERON F. e VIVONA A., *Illuminazione naturale e fattore di luce diurna*, Materiale didattico per il corso di Tecnica del Controllo Ambientale, Università IUAV di Venezia, a.a. 2010-2011.
- ROMANELLI D., *Napoli antica e moderna*, Napoli, 1815.
- RONCHI O., *Alloggi di scolari a Padova nei secoli XII e XVIII*, Padova, 1923.
- Illuminazione naturale*, dispensa del corso di Fisica Tecnica della facoltà di Architettura dell'Università di Genova.



Sitografia

www.polimi.it/ateneo/la-storia/
www.veterinaria.unimi.it/Facolta/1135_ITA_HTML.html
www.campus-sostenibile.polimi.it/web/guest
www.international-sustainable-campus-network.org
www.campus-sostenibile.polimi.it
www.smart-cities.eu
www.tecnaria.com
www.edilweb.it
www.cened.it/software

Normativa di riferimento

Circolare Ministero LL. PP. n. 3151 del 22/05/1967 – *Criteria di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione delle costruzioni edilizie*

Decreto del Ministero dei LL. PP. del 18/12/1975 – *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*

D.M. 16/05/1987, n. 246 *Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione*
NORMAL 1/88

L. 9/01/1989, n.13 - *Disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici privati*

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 l'eliminazione delle barriere architettoniche*

D.lgs. 626/94 - *Disposizioni in materia di sicurezza sul lavoro*

D.P.R. 24/07/1996, n.503 - *Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici*

D.M. 10/03/1998 - *Criteria 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

L. 14/11/2000, n. 338 - *Disposizioni in materia di alloggi e residenze per studenti universitari*

D.M. 9/05/2002, n. 118 e relativo aggiornamento D.M. 7/02/2011, n.27- *Standard minimi dimensionali e qualitativi e linee guida relative ai parametri tecnici ed economici concernenti la realizzazione di alloggi e residenze per studenti universitari*

D. Lgs 42/2004 - *Codice dei beni culturali e del paesaggio*

D.M. 14/01/2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni* e relativa Circolare: *istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* 26/02/2009, n. 617/2008

D.Lgs. 81/2008 – *T.U. sulla salute e sicurezza sul lavoro*

Decreto 5796, 11/06/2009 - *Aggiornamento per la procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici*

D.Lgs. 311/2010 - *Il rendimento energetico nell'edilizia*

UNI 10339

UNI 10380



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. - Residenza per studenti: evidenziata in colore. Piano terra.

Fig. 13.2. - Residenza per studenti: evidenziata in colore. Piano terra.

Fig. 13.3. - Diverse tipologie di alloggi: stanze ad albergo: numeri 1 e 8; stanze duplex: numeri 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Fig. 13.4. - Il corridoio come luogo della socialità: vista delle postazioni internet.

Fig. 13.5. - Il corridoio come luogo della socialità: pianta piano terra.

Fig. 13.6. - Vista dell'edificio numero 3.

Fig. 13.7. - Il progetto della nuova copertura: lastre in rame ossidato tipo "Tecu oxid" ed elementi in cotto tipo "Autan Terreal": prospetto sud;

Fig. 13.8. - Il progetto della nuova copertura: lastre in rame ossidato tipo "Tecu oxid" ed elementi in cotto tipo "Autan Terreal": prospetto nord.

Fig. 13.9. - Tipologia di alloggio ad "albergo" accessibile anche da utenti con ridotte capacità motorie.

Fig. 13.10. - Tipologie mini-alloggio duplex: sezione.

Fig. 13.11. - Tipologie piante e caratteristiche spaziali.

Fig. 13.12. - rrs-Studio, piazza XX Settembre, Modena, 2008.

Fig. 13.13. - R. Landschaftsarchitekten, piazza R. Wagner, Norimberga, 2008.



- Fig. 13.14., fig. 13.15. e fig. 13.16. - Silberpfeilarchitekten, sopraelevazione WZW, Vienna, 2004.
- Fig. 13.17. - Pianta degli incubatori di impresa dell'edificio numero 3.
- Fig. 13.18. - Macro-suddivisione dello spazio ipogeo: spazi pubblici e semi-pubblici.
- Fig. 13.19. - Vista dell'isolato di Veterinaria con lo spazio ipogeo "scoperchiato".
- Fig. 13.20. - Pianta spazio ipogeo, P -1.
- Fig. 13.21. - Vista dell'ingresso alla mensa.
- Fig. 13.22. - Abaco delle tipologie di lucernario che dichiarano al PT la presenza dello spazio ipogeo sottostante.
- Fig. 13.23. - Viste d'insieme.
- Fig. 13.24. - Viste d'insieme.
- Fig. 13.25. - Compartimenti al piano P -1.
- Fig. 13.26. - Schema esplicativo della superficie illuminante utile.
- Fig. 13.27. - Pianta PT _ codici di riferimento delle unità ambientali.
- Fig. 13.28. - Pianta P1 _ codici di riferimento delle unità ambientali.
- Fig. 13.29. - Pianta P -1 _ codici di riferimento delle unità ambientali.
- Fig. 13.30. - Accessibilità piano terra.
- Fig. 13.31. - Accessibilità spazio ipogeo.
- Fig. 13.32. - Gruppo camere accessibili a una sedia a ruote, scala 1:110.

Il progetto tecnologico

- Fig. 14.1. - Dettaglio in scala 1:50 con evidenziazione degli interventi che garantiscono un adeguato comfort termico e acustico.
- Fig. 14.2. - Dettaglio in scala 1:50: pareti divisorie tipo Knauf.
- Fig. 14.3. - Assonometria parete da scheda tecnica Knauf.
- Fig. 14.4. - Copertura edificio 3 in cotto e rame, scala 1:50.
- Fig. 14.5. - Materiali impiegati per la realizzazione della copertura: elementi brise-soleil in cotto tipo "Autan Terreal".
- Fig. 14.6. - Materiali impiegati per la realizzazione della copertura: lastra di rame ossidato.
- Fig. 14.7. - Materiali impiegati per la realizzazione della copertura: pannello Isotec.
- Fig. 14.8. - Prospetto nord edificio 3.
- Fig. 14.9. - Mood dei materiali impiegati per la realizzazione della copertura.

Il progetto strutturale

- Fig. 15.1. - Particolare solaio di interpiano e solaio controterra, scala 1:55.
- Fig. 15.2. - Immagini esplicative della tecnica dell'intonaco armato.
- Fig. 15.3. - Immagini esplicative della tecnica dell'intonaco armato.
- Fig. 15.4. - Intradosso solaio putrelle metalliche e pignatte sagomate.
- Fig. 15.5. - Particolare connettori Tecnarìa.
- Fig. 15.6. - Infissione dei connettori mediante chiodatrice a sparo e realizzazione di cordoli armati perimetrali.
- Fig. 15.7. - Infissione dei connettori mediante chiodatrice a sparo e realizzazione di cordoli armati perimetrali.
- Fig. 15.8. - Infissione dei connettori mediante chiodatrice a sparo e posa degli elementi in polistirene.
- Fig. 15.9. - Dettaglio costruttivo solaio controterra CO.01/p in scala 1:20.
- Fig. 15.10. - Dettaglio costruttivo solaio di interpiano PO.01/p in scala 1:20.
- Fig. 15.11. - Dettaglio costruttivo partizione interna verticale PV.02/p in scala 1:20.
- Fig. 15.12. - Schermata software Tecnarìa.
- Fig. 15.13. - Dettaglio costruttivo solaio di copertura CO.02 in scala 1:20.
- Fig. 15.14. - Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano.
- Fig. 15.15. - Definizione delle categorie di esposizione.
- Fig. 15.16. - Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$).
- Fig. 15.17. - Valori assunti da c_{pe} al variare di α .
- Fig. 15.18. - Coefficienti di forma per gli edifici.



- Fig. 15.19. - Zone di carico da neve.
- Fig. 15.20. - Pianta strutturale della copertura.
- Fig. 15.21. - Caratteristiche geometriche della lamiera HI-Bond A55 P.600.
- Fig. 15.22. - Schema dell'area di influenza della trave secondaria.
- Fig. 15.23. - Diagramma del momento flettente.
- Fig. 15.24. - Diagramma del taglio.
- Fig. 15.25. - Schema statico 1
- Fig. 15.26. - Andamento della deformata, schema statico 1.
- Fig. 15.27. - Diagramma delle azioni interne di momento flettente, schema statico 1.
- Fig. 15.28. - Diagramma delle azioni interne di taglio, schema statico 1.
- Fig. 15.29. - Schema statico 2.
- Fig. 15.30. - Andamento della deformata, schema statico 2.
- Fig. 15.31. - Diagramma delle azioni interne di momento flettente, schema statico 2.
- Fig. 15.32. - Diagramma delle azioni interne di taglio, schema statico 2.
- Fig. 15.33. - Schema statico 3.
- Fig. 15.34. - Andamento della deformata, schema statico 3.
- Fig. 15.35. - Diagramma delle azioni interne di momento flettente, schema statico 3.
- Fig. 15.36. - Diagramma delle azioni interne di taglio, schema statico 3.
- Fig. 15.37. - Cordolo in c.a. di ancoraggio per i portali.
- Fig. 15.38. - Combinazioni di carico.
- Fig. 15.39. - Diagramma di involuppo delle azioni di taglio.
- Fig. 15.40. - Diagramma di involuppo delle azioni di momento flettente.
- Fig. 15.41. - Schema statico del portale in legno lamellare.
- Fig. 15.42. - Assonometria della struttura della copertura lignea.
- Fig. 15.43. - Schema statico trave lamellare.
- Fig. 15.44. - Dettaglio costruttivo solaio di copertura CO.02 in scala 1:20.
- Fig. 15.45. - Caratteristiche geometriche della lamiera HI-Bond A55 P.600.
- Fig. 15.46. - Schema che evidenzia l'area di influenza della trave secondaria.
- Fig. 15.47. - Diagramma del momento flettente.
- Fig. 15.48. - Diagramma del taglio.
- Fig. 15.49. - Area d'influenza trave principale.
- Fig. 15.50. - Schema statico della trave principale.
- Fig. 15.51. - Diagramma del momento flettente.
- Fig. 15.52. - Diagramma del taglio.
- Fig. 15.53. - Pianta strutturale: pilastro maggiormente sollecitato.
- Fig. 15.54. - Vincoli urbani e accessibilità all'area di cantiere.
- Fig. 15.55. - Raggio di azione delle gru.
- Fig. 15.56. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 1.
- Fig. 15.57. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 2.
- Fig. 15.58. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 3.
- Fig. 15.59. - Schematizzazione del processo di realizzazione della Fase 4.
- Fig. 15.60. - Dati significativi per le scelte della modalità di approvvigionamento in cantiere.
- Fig. 15.61. - Dati significativi per le scelte della modalità di montaggio a piè d'opera.
- Fig. 15.62. - Completamento dell'elemento modulare a piè d'opera e sua movimentazione.
- Fig. 15.63. - Opere provvisorie per le fasi di montaggio in copertura.
- Fig. 15.64. - Muri perimetrali a paratia.
- Fig. 15.65. - Spazio ipogeo ex-novo.
- Fig. 15.66. - Realizzazione paratia con mezzo meccanico.
- Fig. 15.67. - A sinistra: iniezioni di resine biocomponenti.
- Fig. 15.68. - A destra: particolare dell'accostamento tra le fondazioni della struttura ex-novo e quelle dell'edificio esistente.
- Fig. 15.69. - Schematizzazione della suddivisione strutturale tramite giunti di dilatazione.
- Fig. 15.70. - Schema strutturale complessivo dello spazio ipogeo.
- Fig. 15.71. - Pianta strutturale: trave secondaria maggiormente sollecitata (ipogeo).
- Fig. 15.72. - Pianta strutturale: trave principale maggiormente sollecitata (ipogeo).
- Fig. 15.73. - Pianta strutturale: trave secondaria maggiormente sollecitata (bar).
- Fig. 15.74. - Pianta strutturale: trave principale maggiormente sollecitata (bar).



Il progetto impiantistico

Fig. 16.1. - Funzionamento di una cella fotovoltaica: dispositivo capace di convertire l'energia luminosa, incidente su di essa, direttamente in energia elettrica. Semiconduttore: silicio.

Fig. 16.2. - Modulo scelto per il progetto.

Fig. 16.3. - Schema di posizionamento dei pannelli fotovoltaici all'interno dell'isolato di Veterinaria.

Fig. 16.4. - Schemi che indicano il funzionamento di un impianto geotermico: acqua-acqua per l'esistente.

Fig. 16.5. - Schemi che indicano il funzionamento di un impianto geotermico: - acqua-aria per l'ipogeo.

Fig. 16.6. - Impianto ad aria: mandata dall'alto, ripresa dal basso. Le bocchette di ripresa sono installate nelle contropareti: le griglie sono inserite in un sistema decorativo a losanghe con parte inferiore traforata.

Fig. 16.7. - Impianto ad aria: U.T.A. con recuperatore di calore.

Fig. 16.8. - Schema di funzionamento del sistema ad aria.

Fig. 16.9. - Schema di suddivisione delle zone di pertinenza dei singoli tubi: zone di pertinenza dei condotti di mandata.

Fig. 16.10. - Schema di suddivisione delle zone di pertinenza dei singoli tubi: zone di pertinenza dei condotti di ripresa.

Fig. 16.11. - Dimensioni U.T.A. con recuperatore di calore.

Fig. 16.12. - Ventilconvettore modello "Riello".

Fig. 16.13. - Classe energetica estiva: incubatori d'impresa.

Fig. 16.14. - Classe energetica invernale: incubatori d'impresa.

Fig. 16.15. - Classe energetica estiva: residenze per studenti.

Fig. 16.16. - Classe energetica invernale: residenze per studenti.

Il progetto illuminotecnico

Fig. 17.1. - Fattore di luce diurna, rapporto tra un punto interno e uno esterno all'edificio che si trovano nelle medesime condizioni di illuminamento.

Fig. 17.2. - Contributi E_{dc} , E_{re} , E_{ri} .

Fig. 17.3. - Schema progettuale per il controllo dell'illuminazione naturale.

Fig. 17.4. - Esempio di simulazione col software Velux: alloggio duplex.

Fig. 17.5. - Esempio di simulazione col software Ecotect: spazio ipogeo.

Indice delle tabelle

Il rilievo

Tab. 9.1. - Rilievo metrico: Schema per la catalogazione dei locali.

Il progetto architettonico

Tab. 13.1. - Dati dimensionali relativi allo spazio ipogeo confrontati con gli standard minimi da normativa.

Tab. 13.2. - Determinazione della tipologia di edificio, D.M. 16 maggio 1987 n. 246 Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione.

Tab. 13.3. - Verifiche R.A.I. piano terra.

Tab. 13.4. - Verifiche R.A.I. piano terra.

Tab. 13.5. - Verifiche R.A.I. piano primo.

Tab. 13.6. - Verifiche R.A.I. piano interrato.



Il progetto strutturale

- Tab. 15.1. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di interpiano.
- Tab. 15.2. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio controterra.
- Tab. 15.3. - Calcolo delle azioni permanenti non strutturali delle partizioni verticali.
- Tab. 15.4. - Quadro riassuntivo dei dati inseriti nel software Tecnaria.
- Tab. 15.5. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di copertura.
- Tab. 15.6. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici.
- Tab. 15.7. - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_{0r} , k_a .
- Tab. 15.8. - Valori dei parametri k_r , z_0 , z_{min} , per la definizione del coefficiente di esposizione.
- Tab. 15.9. - Classi di rugosità del terreno.
- Tab. 15.10. - Valori di C_E per diverse classi di topografia.
- Tab. 15.11. - Coefficienti di forma.
- Tab. 15.12. - Caratteristiche meccaniche della lamiera HI-Bond A55 P.600.
- Tab. 15.13. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.
- Tab. 15.14. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.
- Tab. 15.15. - Passo delle staffe per garantire il soddisfacimento delle prescrizioni minime indicate dalla normativa.
- Tab. 15.16. - Calcolo dei carichi permanenti non strutturali del solaio di copertura.
- Tab. 15.17. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici.
- Tab. 15.18. - Caratteristiche meccaniche della lamiera HI-Bond A55 P.600.
- Tab. 15.19. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.
- Tab. 15.20. - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.
- Tab. 15.21. - Curve d'instabilità per le tipologie di sezioni scatolari.
- Tab. 15.22. - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse destinazioni d'uso.
- Tab. 15.23. - Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie.

Il progetto impiantistico

- Tab. 16.1. - Valori di resistenza e trasmittanza delle superfici di involucro.
- Tab. 16.2. - Computo delle superfici disperdenti.
- Tab. 16.3. - Dispersioni per trasmissione dello spazio ipogeo.
- Tab. 16.4. - Dispersioni per ventilazione dello spazio ipogeo.
- Tab. 16.5. - Potenza termica utile al generatore.
- Tab. 16.6. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: mandata.
- Tab. 16.7. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: mandata.
- Tab. 16.8. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: mandata.
- Tab. 16.9. - Dimensionamento relativo all'UTA n 1: ripresa.
- Tab. 16.10. - Dimensionamento relativo all'UTA n 2: mandata.
- Tab. 16.11. - Dimensionamento relativo all'UTA n 2: mandata.
- Tab. 16.12. - Dimensionamento relativo all'UTA n 2: ripresa.
- Tab. 16.13. - Tabella delle dimensioni U.T.A. del catalogo "Samp".
- Tab. 16.14. - Dispersioni per trasmissione dell'edificio numero 3: piano -1.
- Tab. 16.15. - Dispersioni per trasmissione dell'edificio numero 3: piano terra.
- Tab. 16.16. - Dispersioni per trasmissione dell'edificio numero 3: piano primo.
- Tab. 16.17. - Dispersioni per ventilazione dell'edificio numero 3.
- Tab. 16.18. - Dati tecnici ventilconvettori "Riello".
- Tab. 16.19. - Prospetto XI del Decreto 5796 del 2009.
- Tab. 16.20. - Energia elettrica prodotta attraverso l'impianto fotovoltaico.

Il progetto illuminotecnico

- Tab. 17.1. - Valori di illuminamento all'interno degli edifici scolastici.
- Tab. 17.2. - Valori di illuminamento per edifici residenziali.



Indice delle schede

Il rilievo

Schede di prediagnosi relative al guasto:

- _ Scheda muta
- _ Scheda n. 1: lacune o mancanze, rappezzi 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 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 rappezzi 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

Casi studio:

- _ Scheda n. 1: Le Corbusier, Unité d'Habitation, Marsiglia, 1947-1952.
- _ Scheda n. 2: Lundgaard & Tranberg, Residenza per studenti Titgenkollegiet, Copenaghen, 2007.
- _ Scheda n. 3: Bevk Perović Arhitekti, Residenza per studenti, Ljubljana, 2002-2007.

Il progetto tecnologico

Verifiche prestazionali:

- _ Scheda muta
- _ Parete perimetrale verticale CV.01/e
- _ Parete perimetrale verticale CV.01/p
- _ Solaio controterra CO.01/e
- _ Solaio controterra CO.01/p
- _ Solaio di copertura CO.03/e
- _ Solaio di copertura CO.03/p
- _ Solaio di copertura CO.02
- _ Solaio di copertura CO.04
- _ Parete perimetrale sottotetto CV.02
- _ Solaio di copertura CO.07
- _ Solaio di copertura CO.05
- _ Solaio controterra CO.06
- _ Muro controterra CV.03



Indice delle tavole

Città studi campus sostenibile

- Tav. 001 - Raccolta cartografia storica
- Tav. 002 - Obiettivi di progetto
- Tav. 003 - Progettare la sostenibilità

Conoscere per proporre

- Tav. 004 - Analisi alla scala territoriale _ Sedi universitarie e residenze studentesche

Analisi del contesto

- 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 Sottterraneo_Piano Rialzato
- Tav. 031 - Rilievo metrico_Edificio 8 _ Pianta Piano Primo_Piano Secondo
- Tav. 032 - Rilievo metrico_Edificio 8 _ Pianta Piano Sottterraneo
- 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 fotoraddrizzamento edificio 8_Prospetto Est
- Tav. 044 - Rilievo materico edificio 8_Prospetto Nord
- Tav. 045 - Rilievo materico su fotoraddrizzamento 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 mixité
- 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 - Il rilievo dello stato di fatto
- Tav. 083 - Pianta PT
- Tav. 084 - Suggestioni
- Tav. 085 - Pianta _ Ipogeo
- Tav. 086 - Pianta Ipogeo
- Tav. 087 - Pianta Ipogeo
- Tav. 088 - Demolizioni costruzioni _ PT
- Tav. 089 - Demolizioni costruzioni _ Ipogeo
- Tav. 090 - Sezione AA'
- Tav. 091 - Sezione BB', CC' e DD'
- Tav. 092 - Distributivo _ Edificio n° 3



INDICE

- Tav. 093 - Tipologie camere _ Edificio n°3
- Tav. 094 - Prospetti _ Edificio n°3
- Tav. 095 - Viste
- Tav. 096 - Verifiche prevenzione incendi

Il progetto tecnologico

- Tav. 097 - Particolari tecnologici esistente (scala 1:50) _ Edificio n°3
- Tav. 098 - Particolari tecnologici progetto (scala 1:50)_ Edificio n°3
- Tav. 099 - Particolari tecnologici esistente (scala 1:20)_ Edificio n°3
- Tav. 100 - Particolari tecnologici progetto (scala 1:20)_ Edificio n°3
- Tav. 101 - Particolari tecnologici esistente (scala 1:20)_ Edificio n°3
- Tav. 102 - Particolari tecnologici progetto (scala 1:20)_ Edificio n°3
- Tav. 103 - Particolari tecnologici progetto (scala 1:20)_ Edificio n°3
- Tav. 104 - Particolari tecnologici progetto (scala 1:20)_ Ipogeo
- Tav. 105 - Abaco lucernari _ Ipogeo
- Tav. 106 - Abaco delle classi di unità tecnologiche _ Edificio n°3
- Tav. 107 - Abaco delle classi di unità tecnologiche _ Edificio n°3

Il progetto strutturale

- Tav. 108 - Dettagli strutturali solai _ Edificio n°3
- Tav. 109 - Dettagli strutturali copertura _ Edificio n°3
- Tav. 110 - Dettagli strutturali copertura _ Edificio n°3
- Tav. 111 - Aspetti ergotecnici
- Tav. 112 - Pianta strutturale _ Ipogeo

Il progetto impiantistico

- Tav. 113 - Schema impiantistico_Ipogeo
- Tav. 114 - Pianta Ipogeo _ progetto impiantistico
- Tav. 115 - Pianta Ipogeo _ progetto impiantistico
- Tav. 116 - Piante con indicazioni corpi scaldanti

Il progetto illuminotecnico

- Tav. 117 - Studi illuminotecnici Duplex _ Edificio n°3
- Tav. 118 - Studi illuminotecnici _ Ipogeo